

Skema Pendanaan: Utama

LAPORAN PENELITIAN



OPTIMISASI PELEPASAN BEBAN MENGGUNAKAN HIBRID *GREY WOLF-WHALE OPTIMIZATION ALGORITHM* UNTUK MEMAKSIMALKAN KEBERLANJUTAN PASOKAN DAYA PADA JARINGAN DISTRIBUSI TERISOLASI

TIM PENELITI

Ketua : Sujono (990002)
Anggota : Akhmad Musafa (040056)

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BUDI LUHUR
Februari 2025**

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN

- Judul Penelitian** : Optimisasi Pelepasan Beban Menggunakan Hibrid *Grey Wolf-Whale Optimization Algorithm* Untuk Memaksimalkan Keberlanjutan Pasokan Daya Pada Jaringan Distribusi Terisolasi
- Bidang Penelitian** : Teknik Elektro
- Ketua Peneliti**
- a. Nama Lengkap : Sujono
 - b. NIP/NIDN/ID-SINTA : 990002
 - c. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
 - d. Program Studi : Teknik Elektro
 - e. Nomor HP : 081218278184
 - f. Alamat e-mail : sujono@budiluhur.ac.id
- Anggota Peneliti**
- a. Nama Lengkap : Akhmad Musafa
 - b. NIP/NIDN/ID-SINTA : 040056
- Mahasiswa (1)**
- a. Nama Lengkap : Ridha Mufida
 - b. NIM : 2152500084
- Mahasiswa (2)**
- a. Nama Lengkap : Rizka Aulia
 - b. NIM : 2252500018
- Lama Penelitian** : 6 bulan
- Biaya Penelitian**
- a. Sumber Universitas Budi Luhur : Rp. 12.500.000,-
 - b. Sumber lain : -

Jakarta, 7 Februari 2025

Mengetahui,
Kepala Pusat Studi Kendaraan Listrik


(Sujono)
990002

Ketua Pelaksana


(Sujono)
990002

Menyetujui,
Direktur Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat

(Prof. Dr. Ir. Prudensius Maring, M.A.)
NIP 190043

RINGKASAN

Integrasi distributed generation (DG) semakin populer dalam mengatasi permasalahan jaringan distribusi khususnya dalam hal regulasi tegangan dan rugi daya dalam jaringan. Integrasi DG juga memungkinkan bagi jaringan distribusi untuk dapat beroperasi dalam mode terhubung dengan jaringan utama (on-grid) ataupun terisolasi dari jaringan utama (off-grid). Permasalahan keseimbangan daya akan muncul ketika jaringan distribusi harus beroperasi pada mode off-grid yang dikarenakan oleh terhentinya pasokan daya dalam jumlah besar yang bersumber dari jaringan utama.

Strategi operasional pada jaringan distribusi yang terisolasi (mode off-grid) dapat dilakukan dengan rekonfigurasi jaringan dengan memanfaatkan sectional tie switch atau dengan membagi menjadi beberapa picogrid yang independen berdasarkan lokasi keberadaan DG. Namun demikian, pada kasus tertentu dari mode off-grid, terputusnya pasokan daya dalam jumlah besar dari jaringan utama menyebabkan perbedaan atau defisit yang sangat besar antara pembangkitan DG dan beban. Kedua strategi tersebut tidak menyelesaikan masalah defisit daya dalam jaringan. Sebagai pilihan terakhir adalah harus dilakukan pelepasan terhadap sebagian dari beban pada jaringan distribusi. Berdasarkan uraian tersebut, sangat tepat untuk dilakukan penelitian yang berfokus pada optimisasi pelepasan beban pada jaringan distribusi terisolasi dengan menerapkan algoritma hybrid Grey Wolf - Whale Optimization Algorithm (GWWOA) untuk memaksimalkan beban yang dipertahankan dan mempertimbangkan beban prioritas yang ada dalam jaringan distribusi.

Tujuan penelitian ini adalah: (a) menghasilkan algoritma hybrid GWWOA untuk optimisasi pelepasan beban pada jaringan distribusi, (b) menghasilkan komposisi beban yang optimal untuk dipertahankan pada jaringan, (c) memberikan alternatif strategi operasional jaringan distribusi dalam menjaga keberlanjutan pasokan daya ke beban prioritas.

Penelitian ini sangat sesuai dengan Rencana Strategis Penelitian Universitas Budi Luhur khususnya di bidang energi. Tingkat kesiapterapan teknologi (TKT) hasil penelitian berada pada tingkat dua dan tiga yang akan dinyatakan dalam bentuk artikel yang akan dipublikasikan di jurnal nasional terakreditasi. Diharapkan luaran dari penelitian ini dapat diterapkan dan disesuaikan dengan segala tantangan yang dibutuhkan pada sistem kelistrikan di Indonesia.

PRAKATA

Puji dan syukur dipanjangkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia- Nya kami dapat menyelesaikan Laporan Akhir Penelitian sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan. Penelitian ini dilakukan dalam rangka memenuhi kewajiban dosen dalam pelaksanaan Tridharma Perguruan Tinggi. Kami menyadari bahwa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak sangat membantu kami untuk menyelesaikan laporan akhir ini. Oleh karena itu, kami mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Dr. Ir. Prudensius Maring, M.A.selaku Direktur Riset dan Pengabdian Pada Masyarakat Universitas Budi Luhur yang telah memberikan kesempatan kepada para dosen tetap untuk melakukan penelitian ini;
- 2) Dekan Fakultas Teknik Universitas Budi Luhur yang senantiasa memberikan kritik dan saran yang berguna demi kelancaran dan peningkatan kualitas penelitian ini;
- 3) Ketua Program Studi Teknik Elektro atas dukungan yang telah diberikan demi kelancaran pelaksanaan penelitian ini;
- 4) Serta seluruh Dosen Program Studi Teknik Elektro-Fakultas Teknik yang turut berpartisipasi dalam pembuatan laporan kemajuan penelitian ini;

Akhir kata, kami berharap Allah SWT berkenan membalaq segala kebaikan semua pihak yang telah membantu.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN	2
RINGKASAN	3
PRAKATA.....	4
DAFTAR ISI.....	5
DAFTAR TABEL.....	7
DAFTAR GAMBAR	8
DAFTAR LAMPIRAN.....	9
BAB 1 PENDAHULUAN	10
1.1. Latar Belakang dan Rumusan Masalah	10
1.2. Pendekatan Pemecahan Masalah	11
1.3. State of the art dan Kebaruan	12
1.4. Peta Jalan Penelitian	12
BAB 2 METODE.....	14
2.1 Alur Penelitian	14
2.2. Algoritma Grey Wolf Optimizer (GWO)	16
2.3. Algoritma Whale Optimization Algorithm (WOA)	17
2.4. Aliran Daya Pada Jaringan Distribusi Radial	19
2.5. Optimisasi Pelepasan Beban	20
2.5.1. Beban Tersisa Dalam Jaringan	21
2.5.2. Obyektif Optimisasi.....	21
2.6. Kendala Optimisasi Pelepasan Beban	22
2.7. Hibridasi algoritma GWO-WOA pada optimisasi pelepasan beban	23
BAB 3 HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN.....	25
3.1. Data Sistem Distribusi Radial IEEE 118 bus terintegrasi dengan 12 pembangkitan terdistribusi	25
3.2. Studi Kasus-1: Optimisasi Pelepasan Beban Pada Tingkat Pembebanan 80% dari Beban Dasar.	29
3.3. Studi Kasus-2: Optimisasi Pelepasan Beban Pada Tingkat Pembebanan 100% dari Beban Dasar	32
3.4. Studi Kasus-3: Optimisasi Pelepasan Beban Pada Tingkat Pembebanan 140% dari Beban Dasar	36
3.5. Analisa Hasil Optimisasi Pelepasan Beban	38
BAB 4 PENUTUP	40

4.1. Kesimpulan	40
4.2. <i>Future Work</i>	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN.....	44
Lampiran 1. Realisasi Penggunaan Anggaran	44
Lampiran 2. Biodata Ketua dan Anggota Tim Peneliti	45
Lampiran 3. Surat Perjanjian Kontrak Penelitian	52
Lampiran 4. Catatan Harian.....	53
Lampiran 5. Artikel Ilmiah (draft).....	54
Lampiran 6. HKI.....	55

DAFTAR TABEL

<i>Tabel 3. 1 Data lokasi, jenis, kapasitas daya, dan faktor daya DG.....</i>	26
<i>Tabel 3. 2 Data saluran sistem distribusi radial IEEE 118 bus</i>	27
<i>Tabel 3. 3 Data beban dasar.....</i>	28
<i>Tabel 3. 4 Ringkasan hasil optimisasi pelepasan beban untuk faktor pembebahan 80% dari beban dasar.....</i>	29
<i>Tabel 3. 5 Ringkasan hasil optimisasi pelepasan beban untuk faktor pembebahan 100% dari beban dasar.....</i>	33
<i>Tabel 3. 6 Ringkasan hasil optimisasi pelepasan beban untuk faktor pembebahan 80% dari beban dasar.....</i>	36
<i>Tabel 3. 7 Perbandingan hasil optimisasi pelepasan beban untuk tingkat pembebahan 80%, 100%, dan 140% dari beban dasar</i>	39

DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2. 1</i>	<i>Tahapan penelitian.....</i>	15
<i>Gambar 2. 2</i>	<i>Perangkap gelembung paus bungkuk.....</i>	18
<i>Gambar 2. 3</i>	<i>Single Line Diagram jaringan radial 8 bus</i>	19
<i>Gambar 2. 4</i>	<i>Diagram Alir Optimisasi Pelepasan Beban Menggunakan Hybrid Paralel GW-WOA</i>	24
<i>Gambar 3. 1</i>	<i>Diagram sistem distribusi radial IEEE 33bus terintegrasi 3 DG.....</i>	26
<i>Gambar 3. 2</i>	<i>Profil tegangan bus dalam jaringan yang dibebani 80% dari beban dasar setelah optimisasi pelepasan beban dengan algoritma GW-WOA, standar WOA, dan standar GWO</i>	31
<i>Gambar 3. 3</i>	<i>Karakteristik konvergensi algoritma dalam optimisasi pelepasan beban pada jaringan yang dibebani 80% dari beban dasar: (a) algoritma GW-WOA, (b) standar WOA, dan (c) standar GWO</i>	32
<i>Gambar 3. 4</i>	<i>Profil tegangan bus dalam jaringan yang dibebani 100% dari beban dasar setelah optimisasi pelepasan beban dengan algoritma GW-WOA, standar WOA, dan standar GWO</i>	34
<i>Gambar 3. 5</i>	<i>Karakteristik konvergensi algoritma dalam optimisasi pelepasan beban pada jaringan yang dibebani 100% dari beban dasar: (a) algoritma GW-WOA, (b) standar WOA, dan (c) standar GWO</i>	36
<i>Gambar 3. 6</i>	<i>Karakteristik konvergensi algoritma dalam optimisasi pelepasan beban pada jaringan yang dibebani 140% dari beban dasar: (a) algoritma GW-WOA, (b) standar WOA, dan (c) standar GWO</i>	38

DAFTAR LAMPIRAN

<i>Lampiran 1. Realisasi Penggunaan Anggaran</i>	44
<i>Lampiran 2. Biodata Ketua dan Anggota Tim Peneliti</i>	45
<i>Lampiran 3. Surat Perjanjian Kontrak Penelitian</i>	52
<i>Lampiran 4. Catatan Harian</i>	53
<i>Lampiran 5. Artikel Ilmiah (draft)</i>	54
<i>Lampiran 6. HKI</i>	55

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Rumusan Masalah

Evolusi pada jaringan sistem tenaga modern terjadi mengarah pada penerapan pembangkit listrik dengan kapasitas rendah, ditempatkan pada jaringan distribusi, biasanya bersumber dari energi terbarukan yang dikenal sebagai distributed generation (DG) [1]. Integrasi DG pada jaringan distribusi memiliki beberapa keuntungan seperti meningkatkan kapasitas daya dalam sistem tenaga, mereduksi rugi-rugi daya pada sistem tenaga, dan meningkatkan profil tegangan bus [2]. Penentuan kapasitas dan lokasi penempatan DG menjadi sangat penting untuk direncanakan dengan tepat agar bisa terwujud tujuan penerapan DG. Lokasi DG yang tepat bisa mendukung strategi operasional dalam kondisi tertentu dimana jaringan distribusi harus mengalami isolasi dari jaringan utama [3].

Pada jaringan distribusi yang terintegrasi DG memungkinkan untuk beroperasi dalam dua mode [4]. Mode pertama adalah terhubung ke jaringan utama (on-grid) dan mode kedua adalah terisolasi dari jaringan utama (off-grid). Pada mode on-grid, jaringan distribusi memenuhi permintaan daya beban dengan memanfaatkan daya dari jaringan utama yang dikombinasikan dengan daya dari pembangkitan DG. Sedangkan pada mode off-grid, sambungan dari jaringan distribusi ke jaringan utama diputus dengan alasan tertentu sehingga menyebabkan jaringan distribusi menjadi terisolasi. Pemutusan sambungan tersebut dapat dilakukan secara sengaja dan terjadwal ketika kegiatan pemeliharaan jaringan [5]. Pemutusan juga perlu dilakukan ketika terjadi gangguan pada jaringan dengan tujuan untuk melokalisir dampak yang bisa ditimbulkan oleh gangguan tersebut. Pada mode off-grid, jaringan distribusi harus memasok daya ke beban dengan hanya mengandalkan pembangkitan daya dari DG yang sangat terbatas. Kapasitas pembangkitan DG yang jauh dibawah daya beban menyebabkan ketidakseimbangan daya. Kondisi ini dapat menyebabkan penurunan kestabilan tegangan dan frekuensi pada jaringan [6].

Strategi operasional pada jaringan distribusi yang terisolasi dapat dilakukan dengan beberapa cara. Yang pertama adalah rekonfigurasi jaringan dengan memanfaatkan sectional tie switch untuk rekonfigurasi jaringan sehingga pembebahan jalur distribusi dapat diatur ulang [7]. Yang kedua adalah membagi menjadi beberapa picogrid yang independen berdasarkan keberadaan DG. DG bertindak sebagai sumber daya untuk beban di setiap picogrid. Namun demikian, pada beberapa kasus mode off-grid, terputusnya pasokan daya dalam jumlah besar dari jaringan utama menyebabkan perbedaan yang sangat besar antara pembangkitan DG dan beban. Strategi rekonfigurasi jaringan dan membagi jaringan menjadi picogrid tidak dapat

menyelesaikan masalah defisit daya dalam jaringan. Sebagai pilihan terakhir adalah harus dilakukan pelepasan terhadap sebagian dari beban yang terhubung dalam jaringan distribusi [5][8].

Pelepasan beban dalam jaringan terisolasi bertujuan untuk mewujudkan keseimbangan daya dalam jaringan distribusi yang terintegrasi DG. Pelepasan sebagian dari beban pada tiap bus dalam jaringan distribusi harus dilakukan dengan tepat dan harus memperhatikan keberadaan beban prioritas yang tidak bisa menoleransi ketiadaan pasokan daya listrik. Beban prioritas sebisa mungkin harus dipertahankan untuk tetap mendapatkan pasokan daya. Selain hal tersebut, komposisi beban tersisa pada tiap bus setelah proses pelepasan beban akan sangat menentukan keseimbangan daya dan aliran daya dalam jaringan, rugi daya, profil tegangan bus, dan tingkat pembebaan saluran dalam jaringan distribusi. Untuk itu diperlukan strategi pelepasan beban yang tepat dan optimal. Berdasarkan uraian tersebut, sangat tepat untuk dilakukan penelitian pengembangan algoritma metaheuristik melalui hibridasi untuk meningkatkan kinerjanya.

1.2.Pendekatan Pemecahan Masalah

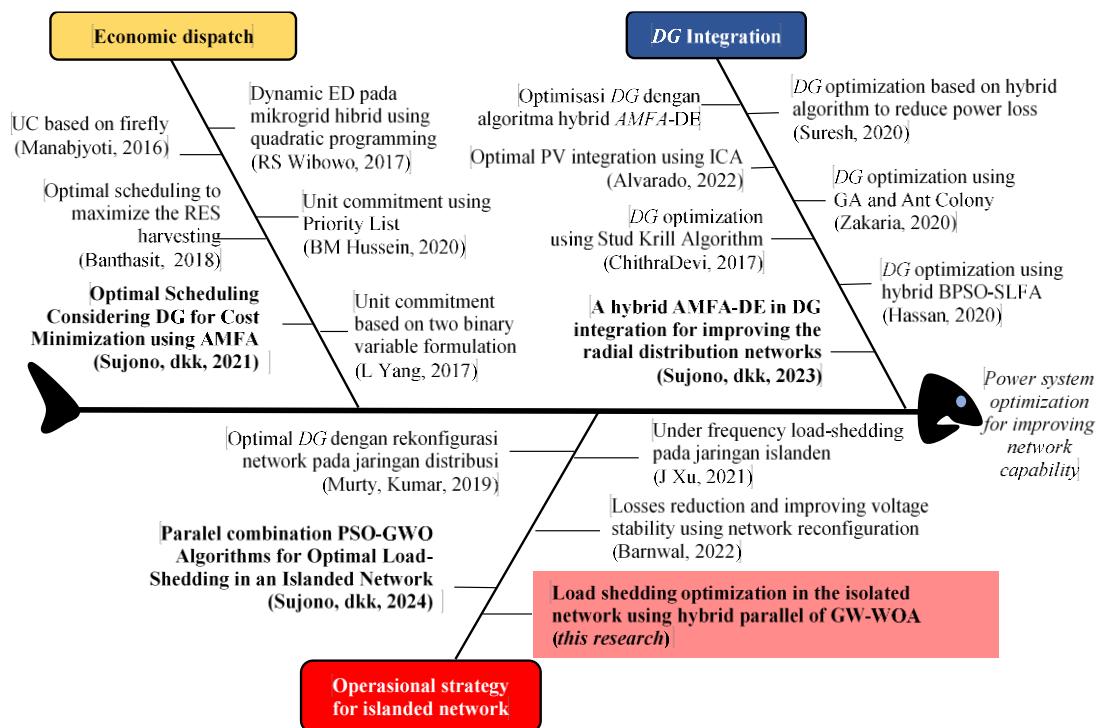
Pelaksanaan keseluruhan kegiatan penelitian dikelompokkan dalam tiga tahap sebagai berikut:

- **Tahap Pertama** adalah mengkaji karakteristik serta kinerja masing-masing algoritma Grey Wolf dan Whale Optimization Algorithm, melakukan pemodelan fungsi obyektif optimisasi, dan pemodelan optimisasi pelepasan beban dengan mempertimbangkan beban prioritas yang harus tetap dipertahankan keberadaannya dalam jaringan distribusi.
- **Tahap kedua** adalah melakukan hibridasi kedua algoritma untuk mendapatkan algoritma hybrid Grey Wolf-Whale Optimization Algorithm (GWWOA) yang lebih handal dengan memanfaatkan kelebihan masing-masing algoritma. Studi kasus yang digunakan adalah optimisasi pelepasan beban pada jaringan distribusi terintegrasi DG dalam mode terisolasi (off-grid). Sistem uji yang digunakan adalah jaringan distribusi radial IEEE 118 bus.
- **Tahap ketiga** adalah mengkaji keandalan algoritma hybrid GWWOA yang diusulkan dalam optimisasi pelepasan beban pada jaringan terisolasi. Kajian keandalan dilakukan dengan uji statistik terhadap variasi parameter algoritma dan kompleksitas dari jumlah variabel yang dioptimisasi. Dengan uji statistik ini akan diketahui konsistensi algoritma yang diusulkan dalam memberikan hasil optimal yang bersifat global.

1.3.State of the art dan Kebaruan

Kontribusi dan kebaruan dari penelitian ini adalah: (a) optimisasi pelepasan beban untuk memaksimalkan beban yang tersisa di jaringan dengan komposisi yang paling tepat di setiap bus sehingga terwujud aliran daya dengan rugi-rugi daya yang minimal dengan mempertimbangkan prioritas beban dan faktor pembebanan, (b) pengembangan algoritma hybrid GWWOA dalam optimisasi pelepasan beban, (c) menguji keandalan algoritma yang diusulkan (GWWOA) dengan studi kasus pada jaringan distribusi radial IEEE 118 bus, (d) mengkaji keandalan algoritma GWWOA dengan uji statistik terhadap variasi parameter algoritma dan kompleksitas variabel yang dioptimisasi, (e) memberikan alternatif solusi dalam strategi operasional pada jaringan distribusi terisolasi dalam rangka menjaga keberlanjutan pasokan daya ke beban prioritas.

Gambar 1.1 menyajikan posisi penelitian yang akan dilakukan terhadap publikasi yang sudah ada hingga saat sekarang.



Gambar 1. 1 Fishbone diagram kegiatan penelitian terhadap publikasi penelitian lain

1.4.Peta Jalan Penelitian

Topik penelitian ini adalah bagian dari roadmap yang telah disusun dan direncanakan untuk beberapa masa mendatang sebagaimana disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 1. 2 Roadmap Penelitian

BAB 2

METODE

2.1 Alur Penelitian

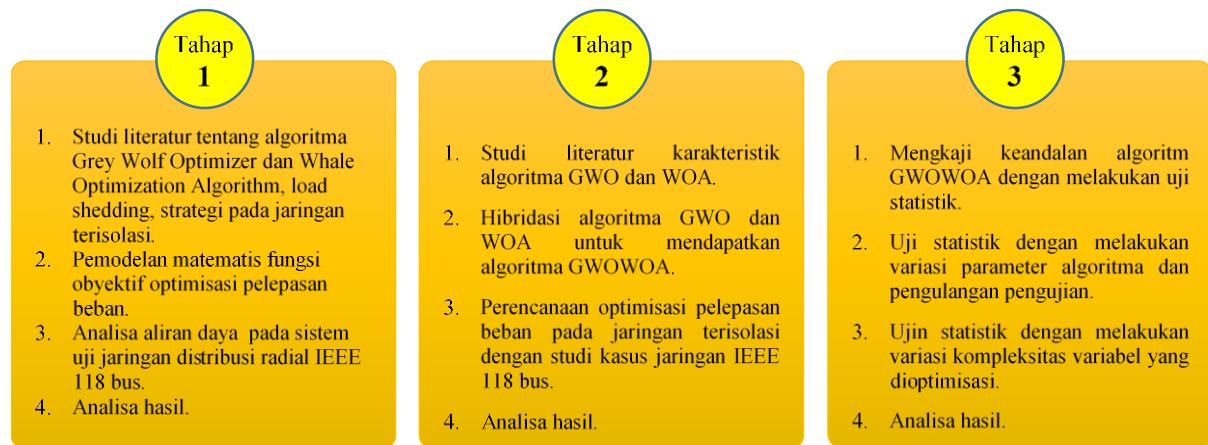
Jaringan distribusi tenaga listrik yang terintegrasi dengan DG mampu beroperasi pada dua mode [9]. Mode pertama adalah on-grid dimana jaringan distribusi terhubung dengan jaringan utama. Pada mode on-grid, pasokan daya beban dilakukan dengan mengkombinasikan antara pembangkitan daya dari DG dan pasokan daya dari jaringan utama [10]. Mode kedua adalah mode off-grid dimana jaringan distribusi terisolasi dari jaringan utama. Pemutusan sambungan jaringan utama bisa dikarenakan kesengajaan pada saat pemeliharaan jaringan atau bisa juga terpaksa diputus pada saat terjadi gangguan untuk melokalisir dampak yang ditimbulkan. Pada mode off-grid, pasokan daya dari jaringan utama akan terhenti, sehingga jaringan distribusi hanya mengandalkan kemampuan pembangkitan dari DG [11]. Keterbatasan kapasitas pembangkitan DG menyebabkan ketidakseimbangan daya beban dengan daya pembangkitan DG. Defisit daya tersebut akan menurunkan kestabilan jaringan distribusi sehingga harus diantisipasi dengan melakukan manuver terhadap jaringan distribusi untuk menghindari pemadaman total pada jaringan distribusi.

Strategi operasi pada jaringan distribusi yang terisolasi antara lain dengan melakukan rekonfigurasi jaringan atau memecah jaringan ke dalam jaringan yang lebih kecil. Pada kondisi tertentu, ketidakseimbangan daya yang terlalu besar sehingga tidak bisa diatasi dengan rekonfigurasi jaringan maupun pemecahan jaringan. Sebagai pemecahannya adalah dengan melakukan pelepasan sebagian beban dalam jaringan untuk mewujudkan keseimbangan daya beban dengan daya pembangkitan [12]. Penentuan beban mana yang dilepaskan dan beban mana yang bisa dipertahankan akan menentukan kondisi aliran daya jaringan dan rugi-rugi daya dalam jaringan.

Pada penelitian ini, kajian berfokus pada optimisasi pelepasan beban pada jaringan distribusi dengan menerapkan algoritma metaheuristik berbasis pada kecerdasan yang terdapat pada sekawanan binatang. Algoritma yang diusulkan adalah hibrid Grey Wolf-Whale Optimization Algorithm (GWWOA). Optimisasi bertujuan untuk memaksimalkan beban yang dipertahankan dalam jaringan distribusi terisolasi, dengan mempertimbangkan beban prioritas yang tidak bisa menoleransi ketiadaan pasokan daya listrik. Beban yang dipertahankan dalam jaringan diharapkan mampu menghasilkan aliran daya yang paling optimal dengan rugi daya dan indeks deviasi tegangan yang minimal.

Pengembangan algoritma dilakukan dengan hibridasi algoritma GWO [13] dan WOA [14] untuk mendapatkan algoritma hibrid GWWOA yang lebih unggul dengan memanfaatkan

kelebihan masing-masing algoritma GWO dan WOA. Secara rinci, metode pelaksanaan penelitian dilakukan dengan mengikuti tahapan sebagaimana disajikan pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Tahapan penelitian

Pada tahap pertama, kegiatan penelitian dimulai dengan kajian literatur terkait dengan algoritma yang digunakan yaitu Grey Wolf Optimizer (GWO) dan Whale Optimization Algorithm (WOA). Hal ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kinerja masing-masing algoritma. Pada tahap ini juga dilakukan studi literatur tentang strategi operasional jaringan terisolasi dan pelepasan beban, pemodelan matematis untuk fungsi obyektif dari optimisasi pelepasan beban dengan mempertimbangkan beban prioritas. Pada tahap ini juga dilakukan pemodelan aliran daya backward/forward sweep pada jaringan distribusi sebagai tulang punggung dari proses penentuan dari obyektif optimisasi. Dari tahap ini akan dihasilkan model fungsi obyektif optimisasi, keunggulan dan kelemahan dari algoritma GWO dan WOA, dan analisa aliran daya pada jaringan distribusi.

Pada tahap kedua adalah melakukan hibridasi kedua algoritma untuk mendapatkan algoritma hybrid Grey Wolf-Whale Optimization Algorithm (GWWOA) yang lebih handal dengan memanfaatkan kelebihan masing-masing algoritma. Pada tahap ini dilakukan simulasi optimisasi dengan studi kasus yang digunakan adalah optimisasi pelepasan beban pada jaringan distribusi terintegrasi DG dalam mode terisolasi (off-grid). Sistem uji yang digunakan adalah jaringan distribusi radial IEEE 118 bus (15). Dari tahap ini akan dihasilkan model hybrid GWWOA sebagai algoritma yang diusulkan, model simulasi optimisasi pelepasan beban pada jaringan distribusi IEEE 118 bus sebagai studi kasus, dan hasil simulasi untuk mengukur kinerja algoritma yang diusulkan.

Pada tahap ketiga adalah menguji keandalan algoritma GWWOA dalam optimisasi pelepasan beban dengan menerapkan uji statistik. Uji statistik dilakukan dengan variasi parameter algoritma yang disusulkan, kompleksitas dari variabel yang dioptimisasi, dan pengulangan pengujian untuk mengetahui konsistensi kinerja dari algoritma GWWOA yang

diusulkan. Dari tahap ini akan dihasilkan data uji statistik untuk mengukur keandalan algoritma dalam hal konsistensi untuk memberikan hasil pelepasan beban yang optimal dan bersifat global.

Hasil akhir yang ditargetkan dari penelitian ini adalah sebuah algoritma hybrid GWWOA pada optimisasi pelepasan beban pada jaringan distribusi terisolasi dengan memperhatikan beban prioritas dan memaksimalkan beban yang dipertahankan dalam jaringan. Pelepasan beban yang optimal akan menghasilkan kesetimbangan daya antara beban dengan daya pembangkitan DG. Komposisi beban tersisa dalam jaringan akan menghasilkan aliran daya yang paling optimal dengan rugi daya dan deviasi tegangan yang minimal, serta profile tegangan bus yang terbaik.

2.2. Algoritma Grey Wolf Optimizer (GWO)

Algoritma GWO terinspirasi pada hierarki kepemimpinan dan cara berburu sekawan serigala abu-abu. Alpha (α) dianggap sebagai serigala paling dominan, disusul oleh Beta (β) dan Delta (δ). Omega (ω) dianggap sebagai individu yang paling rendah dominasinya dan hanya diperbolehkan makan di saat-saat terakhir [15].

Dalam mencari mangsa, serigala mengepung mangsanya yang dapat dimodelkan secara matematis dalam persamaan (1) dan (2).

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

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

dimana t mengindikasikan iterasi sekarang, X_p vektor posisi mangsa, dan X vektor posisi dari serigala abu-abu. Koefisien A dan C dihitung dengan persamaan (3) dan (4) berikut ini.

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

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

dimana r_1 dan r_2 adalah nilai random dalam $[0,1]$. Konstanta a memiliki nilai awal 2 dan berkurang seiring dengan iterasi mengikuti persamaan (5).

$$a = 2 \left(1 - \frac{t}{t_{max}} \right) \quad (5)$$

dimana t_{max} adalah maksimum iterasi.

Fase selanjutnya adalah perburuan yang dipandu oleh tiga individu terbaik. Alpha, beta, dan delta adalah tiga individu dengan fitnes terbaik. Individu lainnya menyesuaikan posisinya

berdasarkan posisi dari ketiga individu terbaik. Sebagai langkah awal menghitung jarak antara suatu individu terhadap ketiga individu terbaik menggunakan persamaan (6), (7), dan (8).

$$D_\alpha = |C_1 \cdot X_\alpha(t) - X| \quad (6)$$

$$D_\beta = |C_2 \cdot X_\beta(t) - X| \quad (7)$$

$$D_\delta = |C_3 \cdot X_\delta(t) - X| \quad (8)$$

Penyesuaian posisi suatu individu terhadap posisi alpha, beta, dan delta mengikuti persamaan (9), (10), dan (11).

$$X_1 = X_\alpha - A_1 \cdot D_\alpha \quad (9)$$

$$X_2 = X_\beta - A_2 \cdot D_\beta \quad (10)$$

$$X_3 = X_\delta - A_3 \cdot D_\delta \quad (11)$$

Posisi akhir posisi suatu individu adalah rata-rata dari penyesuaian posisi terhadap alpha, beta, dan delta yang dinyatakan dalam persamaan (12).

$$X(t+1) = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3} \quad (12)$$

Proses perhitungan dilakukan berulang sampai iterasi maksimum atau kriteria penghentian telah dicapai.

2.3. Algoritma Whale Optimization Algorithm (WOA)

Whale optimization algorithm (WOA) adalah algoritma meta-heuristik yang terinspirasi dari strategi berburu mangsa dari paus bungkuk dengan metode jaring gelembung untuk pemberian makan. Paus bungkuk menyelam sekitar 12 meter ke bawah dan kemudian mulai membuat gelembung dalam bentuk spiral di sekitar mangsanya dan berenang ke atas seagaimana diilustrasikan pada gambar 2.2. Paus bungkuk dapat mengenali lokasi mangsa dan mengepungnya.

Algoritma WOA mengasumsikan bahwa agen sebagai kandidat solusi terbaik saat ini adalah mangsa yang dituju, dan agen pencari akan memperbarui posisi mereka menuju agen terbaik mengikuti persamaan (13) dan (14) berikut ini:

$$D = |C \cdot X^*(t) - X(t)| \quad (13)$$

$$X(t+1) = X^*(t) - A \cdot D \quad (14)$$

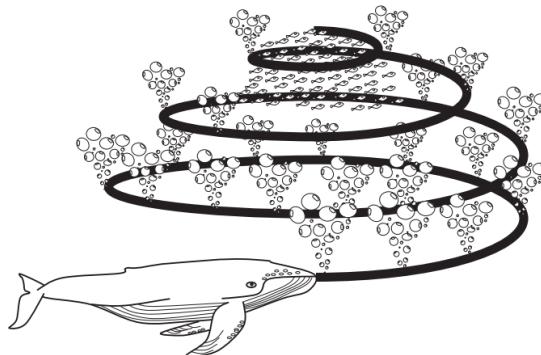
dimana t adalah iterasi saat ini, X^* adalah vektor posisi solusi terbaik yang telah didapatkan sejauh iterasi yang terjadi, X adalah vektor posisi, A dan C adalah vektor koefisien yang dihitung dengan persamaan (15) dan (16).

$$A = 2 \cdot a \cdot r - a \quad (15)$$

$$C = 2 \cdot r \quad (16)$$

dimana nilai a adalah berkurang secara linear dari 2 ke 0 seiring dengan iterasi sesuai persamaan (17) dan r adalah vektor random dalam $[0,1]$.

$$a = 2 \left(1 - \frac{t}{t_{max}} \right) \quad (17)$$



Gambar 2. 2 Perangkap gelembung paus bungkuk

Paus bungkuk mengitari mangsanya mengikuti jalur lingkaran yang mengecil dan spiral dengan probabilitas 50%, yang secara matematis sebagai persamaan (18).

$$X(t+1) = \begin{cases} X(t) - A \cdot D & \text{if } p < 0.5 \\ D' \cdot e^{bL} \cdot \cos(2\pi l) + X^*(t) & \text{if } p \geq 0.5 \end{cases} \quad (18)$$

dimana p adalah bilangan random dalam rentang $[0,1]$, b adalah konstanta untuk bentuk spiral logaritmik, L adalah angka acak dalam $[-1,1]$.

Selain metode jaring gelembung, paus bungkuk juga melakukan eksplorasi untuk mencari mangsa secara acak. Pada fase ini, posisi agen-agen diperbaharui berdasarkan agen pencari yang dipilih secara acak dengan model matematis sebagai berikut:

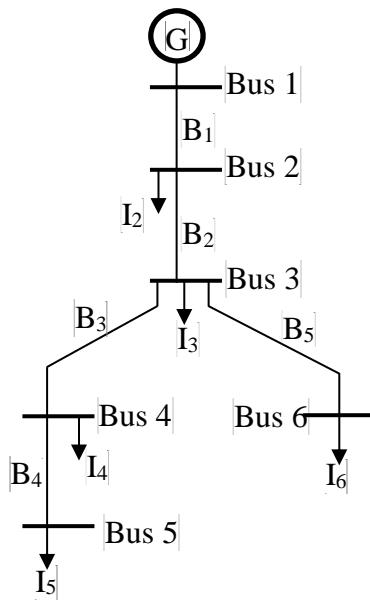
$$D = |C \cdot X_{rand} - X| \quad (19)$$

$$X(t+1) = X_{rand} - A \cdot D \quad (20)$$

dimana X_{rand} adalah vektor posisi random (a random whale) dipilih dari posisi sekarang.

2.4. Aliran Daya Pada Jaringan Distribusi Radial

Metode backward forward sweep (BSF) didasarkan pada kirchoff current law (KCL). Penerapan metode BFS dilakukan dengan membentuk matrik Bus Injection to Branch Current (BIBC) dan Branch Current to Bus Voltage (BCBV). Matrik BIBC menyatakan hubungan antara arus injeksi pada bus dengan arus pada suatu cabang saluran, sedangkan BCBV menyatakan hubungan antara arus cabang saluran dengan tegangan bus.



Gambar 2. 3 Single Line Diagram jaringan radial 8 bus

Dengan menerapkan hukum kirchoff arus terhadap jaringan radial pada gambar 2.3, maka persamaan arus pada tiap cabang dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (21)$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (22)$$

$$B_3 = I_3 + I_4 \quad (23)$$

$$B_4 = I_5 \quad (24)$$

$$B_5 = I_6 \quad (25)$$

Persamaan tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk perkalian matriks menjadi :

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$[B] = [BIBC] [I] \quad (27)$$

dengan $[B]$ adalah matrik arus branch, $[BIBC]$ adalah matrik bus injection to branch current, dan $[I]$ adalah matrik injeksi bus. Angka 1 menunjukkan bahwa arus injeksi bus berpengaruh pada arus branch, dan sebaliknya angka 0 menunjukkan bahwa arus injeksi bus tidak berpengaruh pada arus branch.

Selanjutnya tegangan pada suatu bus dapat ditentukan dengan hukum kirchoff tegangan, dengan tegangan referensi pada bus 1 (V_1) dan drop tegangan yang timbul pada saluran.

$$V_2 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} \quad (28)$$

$$V_3 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} \quad (29)$$

$$V_4 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} \quad (30)$$

$$V_5 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} \quad (31)$$

$$V_6 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_5 \cdot Z_{36} \quad (32)$$

Persamaan (28) s/d (32) dapat dinyatakan ke dalam persamaan matrik menjadi persamaan (33) berikut ini:

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} \quad (33)$$

Selanjutnya persamaan (33) tersebut dapat dinyatakan sebagai :

$$[\Delta V] = [BCBV] [B] \quad (34)$$

dengan $[\Delta V]$ adalah matrik drop tegangan saluran, $[BCBV]$ adalah matrik branch current to bus voltage, dan $[B]$ adalah matrik arus branch.

Dengan substitusi persamaan (27) ke persamaan (34) didapatkan :

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (35)$$

2.5. Optimisasi Pelepasan Beban

Pada penelitian ini, strategi operasional yang dipilih terhadap jaringan distribusi yang terisolasi adalah dengan melakukan pelepasan sebagian beban yang ada dalam jaringan untuk mewujudkan keseimbangan antara daya pembangkitan DG dengan daya beban tersisa setelah proses pelepasan beban. Proses pelepasan beban dilakukan dengan memperhatikan keberadaan

beban prioritas yang tidak bisa menoleransi ketiadaan pasokan daya listrik. Dengan demikian, beban prioritas harus tetap menjadi bagian dari beban yang dipertahankan dalam jaringan. Optimisasi peleasan beban dilakukan untuk mendapatkan komposisi yang optimal dari beban tersisa pada tiap-tiap bus dalam jaringan. Dengan komposisi yang optimal tersebut dapat dihasilkan aliran daya dengan rugi-rugi yang minimal dan profil tegangan yang terbaik yang bisa didapatkan.

2.5.1. Beban Tersisa Dalam Jaringan

Sebagaimana dijelaskan sebelumnya bahwa pelepasan beban dilakukan terhadap sebagian dari total beban yang ada dalam jaringan dengan tetap mempertahankan beban prioritas. Hubungan antara total beban pada jaringan sebelum dan sesudah pelepasan beban dengan total beban yang dilepaskan dari jaringan dinyatakan secara matematis sebagai persamaan (36) berikut ini:

$$P_{remain} = P_{load-total} - P_{shed} \quad (36)$$

dimana, $P_{load-total}$ adalah total beban dalam jaringan sebelum proses pelepasan beban, P_{shed} adalah beban yang dilepaskan dari jaringan, , dan P_{remain} adalah total beban yang tetap dipertahankan dalam jaringan setelah proses pelepasan beban.

2.5.2. Obyektif Optimisasi

Optimisasi pelepasan beban bertujuan untuk memaksimalkan jumlah beban yang bisa tetap dipertahankan setelah proses pelepasan beban yang dinyatakan dalam persamaan (37).

$$f_{obj} = \max(P_{remain}) \quad (37)$$

P_{remain} tidak boleh melebihi kapasitas pembangkitan DG sebagai sumber daya saat jaringan terisolasi agar keseimbangan daya bisa dipertahankan. Selisih antara total kapasitas pembangkitan DG (P_{DG}) dengan P_{remain} dan P_{loss} akan dijadikan sebagai cadangan daya ($P_{reserve}$) yang dinyatakan dalam persamaan (38).

$$P_{reserve} = P_{DG} - (P_{remain} + P_{loss}) \quad (38)$$

Dengan demikian fungsi obyektif untuk memaksimalkan P_{remain} pada persamaan (37) dapat dinyatakan sebagai persamaan (39) yaitu meminimalkan $P_{reserve}$.

$$f_{obj} = \min(P_{reserve}) \quad (39)$$

2.6. Kendala Optimisasi Pelepasan Beban

Dalam proses optimisasi pelepasan beban dari pada jaringan terisolasi, terdapat beberapa batasan atau kendala yang harus dipatuhi antara lain adalah sebagai berikut:

a. Keseimbangan daya

Keseimbangan antara total daya pembangkitan DG dengan total dari daya beban tersisa dan rugi daya dalam jaringan setelah proses pelepasan beban sebagaimana dinyatakan dalam persamaan (40) dan (41).

$$\sum_{i=1}^{N_{DG}} P_{DG,i} = \sum_{j=1}^{N_b} P_{remain,j} + P_{loss-after\ LS} \quad (40)$$

$$\sum_{i=1}^{N_{DG}} Q_{DG,i} = \sum_{j=1}^{N_b} Q_{remain,j} + Q_{loss-after\ LS} \quad (41)$$

dimana, $P_{DG,i}$ dan $Q_{DG,i}$ masing-masing adalah pembangkitan daya aktif dan reaktif oleh DG- i , N_{DG} adalah jumlah DG pada jaringan, $P_{remain,j}$ dan $Q_{remain,j}$ adalah daya aktif dan reaktif beban tersisa pada bus- j , $P_{loss-after\ LS}$ dan $Q_{loss-after\ LS}$ masing-masing adalah total rugi daya aktif dan reaktif pada jaringan setelah dilakukan pelepasan beban.

b. Magnitudo tegangan bus yang diijinkan

Magnitudo tegangan keseluruhan bus dalam jaringan setelah pelepasan beban harus berada dalam batasan yang diijinkan.

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{max} , i = 1,2,3,\dots,N_b \quad (42)$$

dimana, V_i adalah magnitudo tegangan pada bus- i , V_{min} adalah batas minimal magnitudo tegangan (0.95 p.u), dan V_{max} adalah batas maksimal magnitudo tegangan (1.05 p.u).

c. Minimal daya beban tersisa pada jaringan

Daya beban tersisa adalah sama dengan atau lebih besar dari beban prioritas untuk tiap bus dalam jaringan.

$$P_{priority,i} \leq P_{remain,i} \quad (43)$$

$$Q_{priority,i} \leq Q_{remain,i} \quad (44)$$

$P_{priority,i}$ dan $Q_{priority,i}$ masing-masing adalah daya aktif dan reaktif dari beban prioritas pada bus- i , $P_{remain,i}$ dan $Q_{remain,i}$ masing-masing adalah daya aktif dan reaktif dari beban tersisa pada bus- i setelah pelepasan beban.

d. Pembangkitan DG

Pembangkitan DG diatur pada batas maksimum untuk memaksimalkan pemanfaatan DG dalam menjaga kontinuitas pasokan daya ke beban.

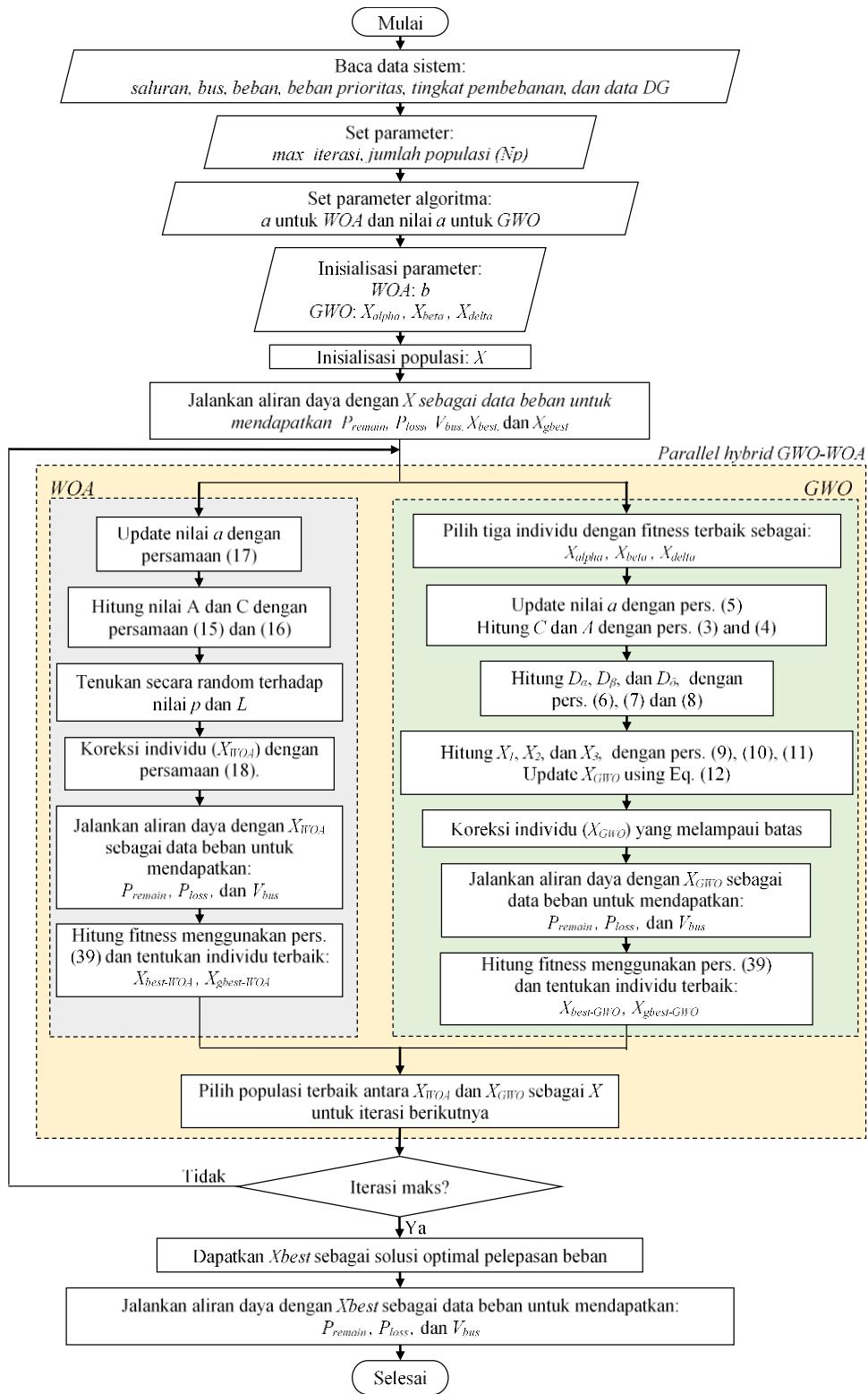
$$P_{DG} = P_{DG}^{max} \quad (45)$$

P_{DG} adalah pembangkitan DG dan P_{DG}^{max} adalah batas maksimum pembangkitan DG.

2.7. Hibridasi algoritma GWO-WOA pada optimisasi pelepasan beban

Hibridasi antar algoritma dilakukan dengan tujuan untuk memanfaatkan kelebihan dari masing-masing algoritma standar yang terlibat dalam hibridasi. Dengan hibridasi antar algoritma, kelemahan dari algoritma standar juga bisa diminimalisasi dan pada akhirnya didapatkan algoritma hibrid baru yang lebih unggul dari algoritma standar.

Pada penelitian ini dilakukan hibridasi paralel terhadap algoritma grey wolf optimizer (GWO) dan whale optimization algorithm (WOA) dalam proses optimisasi pelepasan beban pada jaringan distribusi yang terisolasi dari jaringan utama. Algoritma standar WOA memiliki karakteristik cepat konvergen pada iterasi awal, tetapi lambat pada iterasi akhir. Sebaliknya algoritma GWO memiliki karakteristik lambat pada iterasi awal dan cepat pada iterasi akhir. Berdasarkan karakteristik tersebut, hibridasi GWO-WOA diharapkan mampu memperbaiki konvergensi algoritma yang cepat pada awal maupun akhir iterasi. Diagram alir algoritma hibrid GW-WOA dalam optimisasi pelepasan beban jaringan distribusi terisolasi ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Diagram Alir Optimisasi Pelepasan Beban Menggunakan Hybrid Paralel GW-WOA

Hibrid paralel GW-WOA dilakukan dengan menerapkan perhitungan kedua algoritma standar PSO maupun GWO pada tiap iterasi, kemudian diseleksi hasil terbaik sebagai nilai yang digunakan pada iterasi berikutnya.

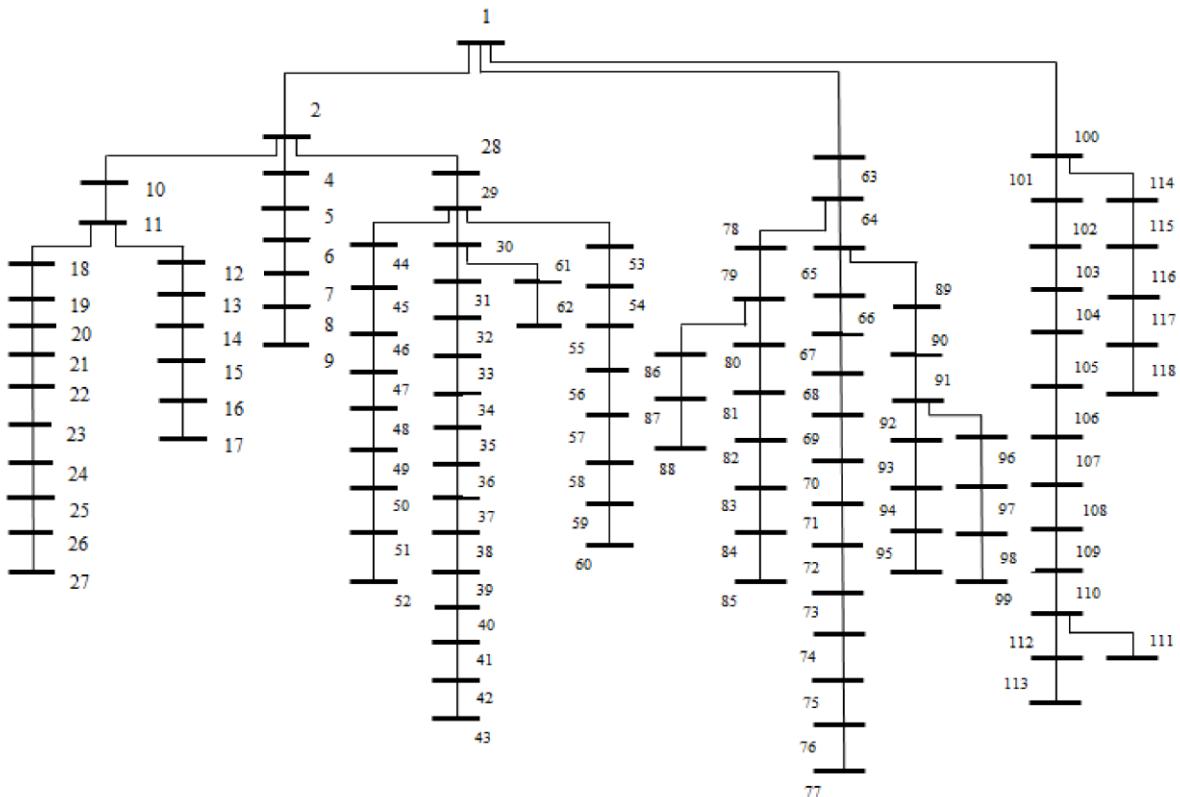
BAB 3

HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN

Optimisasi pelepasan beban dilakukan untuk menentukan jumlah optimal beban yang harus dilepaskan dari jaringan distribusi ketika terisolasi dari jaringan utama sehingga mengalami defisit daya dalam jaringan. Algoritma optimisasi yang diusulkan adalah hibrid paralel GW-WOA. Keandalan algoritma yang diusulkan diuji dengan menerapkan pada sistem jaringan distribusi radial IEEE-33 bus dan 118 bus. Tingkat pemberatan jaringan divariasikan dari 80%, 100%, dan 140% untuk mengetahui konsistensi kinerja algoritma yang diusulkan dalam optimisasi pelepasan beban.

3.1. Data Sistem Distribusi Radial IEEE 118 bus terintegrasi dengan 12 pembangkitan terdistribusi

Sistem uji yang digunakan pada penelitian ini adalah jaringan distribusi radial IEEE 118 bus yang terintegrasi dengan 12 unit pembangkit terdistribusi (*distributed generation* atau *DG*) dengan diagram sistem sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.1[16]. Jumlah bus dan saluran pada sistem uji masing-masing adalah 118 dan 117. Total daya beban dasar yang digunakan adalah 22,709.72 kW dan 17,041.068 kVAR.



Gambar 3. 1 Diagram sistem distribusi radial IEEE 33bus terintegrasi 3 DG

Data dari 12 unit DG yang mencakup tipe DG, lokasi pemasangan, dan batas maksimal daya pembangkitan DG yang digunakan dalam penelitian adalah sebagaimana yang disajikan pada tabel 3.1. Data saluran dan data beban yang terhubung pada tiap bus dalam jaringan masing-masing disajikan pada tabel 3.2 dan tabel 3.3[17].

Tabel 3. 1 Data lokasi, jenis, kapasitas daya, dan faktor daya DG

<i>DG</i>	Bus DG	Tipe <i>DG</i>	$P_{out-max}$ (MW)	<i>pf</i>
1	77	PQ- <i>DG</i>	500	0.8
2	76	PQ- <i>DG</i>	700	0.8
3	75	PQ- <i>DG</i>	700	0.8
4	74	PQ- <i>DG</i>	300	0.8
5	73	PQ- <i>DG</i>	500	0.8
6	43	PQ- <i>DG</i>	500	0.8
7	27	PQ- <i>DG</i>	300	0.8
8	42	PQ- <i>DG</i>	500	0.8
9	52	PQ- <i>DG</i>	700	0.8
10	72	PQ- <i>DG</i>	500	0.8
11	26	PQ- <i>DG</i>	300	0.8
12	51	PQ- <i>DG</i>	500	0.8

Tabel 3. 2 Data saluran sistem distribusi radial IEEE 118 bus

No	Dari bus	Ke bus	R (ohm)	X (ohm)	No	Dari bus	Ke bus	R (ohm)	X (ohm)
1	1	2	0.0360	0.0130	60	30	61	0.7060	0.5461
2	2	3	0.0330	0.0119	61	61	62	0.3380	0.1218
3	2	4	0.0450	0.0162	62	1	63	0.3380	0.1218
4	4	5	0.0150	0.0540	63	63	64	0.2070	0.0747
5	5	6	0.0150	0.0540	64	64	65	0.2470	0.8922
6	6	7	0.0150	0.0125	65	65	66	0.0280	0.0418
7	7	8	0.0180	0.0140	66	66	67	0.1170	0.2016
8	8	9	0.0210	0.0630	67	67	68	0.2550	0.0918
9	2	10	0.1660	0.1344	68	68	69	0.2100	0.0759
10	10	11	0.1120	0.0789	69	69	70	0.3830	0.1380
11	11	12	0.1870	0.3130	70	70	71	0.5040	0.3303
12	12	13	0.1420	0.1512	71	71	72	0.4060	0.1461
13	13	14	0.1800	0.1180	72	72	73	0.9620	0.7610
14	14	15	0.1500	0.0450	73	73	74	0.1650	0.0600
15	15	16	0.1600	0.1800	74	74	75	0.3030	0.1092
16	16	17	0.1570	0.1710	75	75	76	0.3030	0.1092
17	11	18	0.2180	0.2850	76	76	77	0.2060	0.1440
18	18	19	0.1180	0.1850	77	63	78	0.2330	0.0840
19	19	20	0.1600	0.1960	78	78	79	0.5910	0.1773
20	20	21	0.1200	0.1890	79	79	80	0.1260	0.0453
21	21	22	0.1200	0.0789	80	80	81	0.5590	0.3687
22	22	23	1.4100	0.7230	81	81	82	0.1860	0.1227
23	23	24	0.2930	0.1348	82	82	83	0.1860	0.1227
24	24	25	0.1330	0.1040	83	83	84	0.2600	0.1390
25	25	26	0.1780	0.1340	84	84	85	0.1540	0.1480
26	26	27	0.1780	0.1340	85	79	86	0.2300	0.1280
27	2	28	0.0150	0.0296	86	86	87	0.2520	0.1060
28	28	29	0.0160	0.0286	87	87	88	0.1800	0.1480
29	29	30	0.0120	0.0276	88	64	89	0.1600	0.1820
30	30	31	0.1200	0.2766	89	89	90	0.2000	0.2300
31	31	32	0.2100	0.2430	90	90	91	0.1600	0.3930
32	32	33	0.1200	0.0540	91	91	92	0.6690	0.2412
33	33	34	0.1780	0.2340	92	92	93	0.6690	0.2412
34	34	35	0.1780	0.2340	93	93	94	0.2660	0.1227
35	35	36	0.1540	0.1620	94	94	95	0.2660	0.1227
36	36	37	0.1870	0.2610	95	91	96	0.2660	0.1227
37	37	38	0.1330	0.0990	96	96	97	0.2660	0.1227
38	38	39	0.4050	0.3670	97	97	98	0.2330	0.1150
39	39	40	0.3300	0.1940	98	98	99	0.4960	0.1380
40	40	41	0.3100	0.1940	99	1	100	0.1960	0.1800
41	41	42	0.1300	0.1940	100	100	101	0.1960	0.1800
42	42	43	0.2800	0.1500	101	101	102	0.1866	0.1220
43	29	44	1.1800	0.8500	102	102	103	0.0746	0.3180
44	44	45	0.4200	0.2436	103	103	104	0.0625	0.0265
45	45	46	0.2700	0.0972	104	104	105	0.0625	0.0265
46	46	47	0.3390	0.1221	105	105	106	0.1501	0.2340
47	47	48	0.2700	0.1779	106	106	107	0.1347	0.0888
48	48	49	0.2100	0.1383	107	107	108	0.2307	0.1203
49	49	50	0.1200	0.0789	108	108	109	0.4470	0.1608
50	50	51	0.1500	0.0987	109	109	110	0.1632	0.0588
51	51	52	0.1500	0.0987	110	110	111	0.3300	0.0990
52	29	53	0.2400	0.1581	111	110	112	0.1560	0.0561
53	53	54	0.1200	0.0789	112	112	113	0.3819	0.1374
54	54	55	0.4050	0.1458	113	100	114	0.1626	0.0585
55	55	56	0.4050	0.1458	114	114	115	0.3819	0.1374
56	56	57	0.3910	0.1410	115	115	116	0.2445	0.0879
57	57	58	0.4060	0.1461	116	116	117	0.2088	0.0753
58	58	59	0.4060	0.1461	117	117	118	0.2301	0.0828
59	59	60	0.4060	0.1461					

Tabel 3. 3 Data beban dasar

Bus	Beban		
	PL (kW)	QL (kW)	Prioritas
1	-	-	-
2	133.8400	101.1400	0.3300
3	16.2140	11.2920	0.2400
4	34.3150	21.8450	0.2000
5	73.0160	63.6020	0.1700
6	144.2000	68.6040	0.2400
7	104.4700	61.7250	0.3600
8	28.5470	11.5030	0.2200
9	87.5600	51.0730	0.0700
10	198.2000	106.7700	0.2000
11	146.8000	75.9950	0
12	26.0400	18.6870	0.3300
13	52.1000	23.2200	0.1000
14	141.9000	117.5000	0.2800
15	21.8700	28.7900	0.1200
16	33.3700	26.4500	0.4500
17	32.4300	25.2300	0.3800
18	20.2340	11.9060	0.3300
19	156.9400	78.5230	0.1500
20	546.2900	351.4000	0.4800
21	180.3100	164.2000	0.2100
22	93.1670	54.5940	0.2900
23	85.1800	39.6500	0.0500
24	168.1000	95.1780	0.1700
25	125.1100	150.2200	0.1100
26	16.0300	24.6200	0.3600
27	26.0300	24.6200	0.2100
28	594.5600	522.6200	0.2500
29	120.6200	59.1170	0.1600
30	102.3800	99.5540	0.3500
31	513.4000	318.5000	0.2300
32	475.2500	456.1400	0.3200
33	151.4300	136.7900	0.0400
34	205.3800	83.3020	0.1000
35	131.6000	93.0820	0.2500
36	448.4000	369.7900	0.3000
37	440.5200	321.6400	0.2000
38	112.5400	55.1340	0.2300
39	53.9630	38.9980	0.1200
40	393.0500	342.6000	0
41	326.7400	278.5600	0.4000
42	536.2600	240.2400	0.3300
43	76.2470	66.5620	0.2100
44	53.5200	39.7600	0.1500
45	40.3280	31.9640	0.2100
46	39.6530	20.7580	0.3400
47	66.1950	42.3610	0.2600
48	73.9040	51.6530	0.3800
49	114.7700	57.9650	0.4100
50	918.3700	1,205.1000	0.3200
51	210.3000	146.6600	0.1500
52	66.6800	56.6080	0.1800
53	42.2070	40.1840	0.1100
54	433.7400	283.4100	0.2100
55	62.1000	26.8600	0.3200
56	92.4600	88.3800	0.1100
57	85.1880	55.4360	0.2700
58	345.3000	332.4000	0.1900
59	22.5000	16.8300	0.2200

Bus	Beban		
	PL (kW)	QL (kW)	Prioritas
60	80.5510	49.1560	0.0700
61	95.8600	90.7580	0.1000
62	62.9200	47.7000	0.2100
63	478.8000	463.7400	0.3000
64	120.9400	52.0060	0.3100
65	139.1100	100.3400	0.4100
66	391.7800	193.5000	0.0200
67	27.7410	26.7130	0.0400
68	52.8140	25.2570	0.0500
69	66.8900	38.7130	0.1300
70	467.5000	395.1400	0.1000
71	594.8500	239.7400	0.2000
72	132.5000	84.3630	0.1000
73	52.6990	22.4820	0.2200
74	869.7900	614.7750	0.2000
75	31.3490	29.8170	0.1500
76	192.3900	122.4300	0.0500
77	65.7500	45.3700	0.0600
78	238.1500	223.2200	0.0900
79	294.5500	162.4700	0.1600
80	485.5700	437.9200	0
81	243.5300	183.0300	0.2400
82	243.5300	183.0300	0.2000
83	134.2500	119.2900	0.1100
84	22.7100	27.9600	0.0800
85	49.5130	26.5150	0.0700
86	383.7800	257.1600	0.0100
87	49.6400	20.6000	0.1900
88	22.4730	11.8060	0.1100
89	62.9300	42.9600	0.2100
90	30.6700	34.9300	0.2400
91	62.5300	66.7900	0.1300
92	114.5700	81.7480	0
93	81.2920	66.5260	0
94	31.7330	15.9600	0.5000
95	33.3200	60.4800	0.2300
96	531.2800	224.8500	0.1400
97	507.0300	367.4200	0.1200
98	26.3900	11.7000	0.1800
99	45.9900	30.3920	0.0900
100	100.6600	47.5720	0.0600
101	456.4800	350.3000	0.1100
102	522.5600	449.2900	0.1200
103	408.4300	168.4600	0.0400
104	141.4800	134.2500	0.1300
105	104.4300	66.0240	0.1000
106	96.7930	83.6470	0.1000
107	493.9200	419.3400	0.1800
108	225.3800	135.8800	0.3400
109	509.2100	387.2100	0.1300
110	188.5000	173.4600	0.1700
111	918.0300	898.5500	0.0700
112	305.0800	215.3700	0
113	54.3800	40.9700	0.2200
114	211.1400	192.9000	0.2500
115	67.0090	53.3360	0.1800
116	162.0700	90.3210	0.0200
117	48.7850	29.1560	0.0700
118	33.9000	18.9800	0.0900

Simulasi pelepasan beban mencakup 3 studi kasus untuk tingkat pembebahan yang terdiri dari 80%, 100%, dan 140% dari beban dasar. Optimisasi pelepasan beban dilakukan dengan menerapkan algoritma hibrid GW-WOA dan dibandingkan dengan algoritma GWO dan WOA standar. Kinerja algoritma GW-WOA diukur berdasarkan hasil optimisasi pelepasan beban yang meliputi fitness dari objektif yang diinginkan, kecepatan konvergensi, rugi-rugi daya pada jaringan, dan profil tegangan bus setelah dilakukan pelepasan beban.

3.2. Studi Kasus-1: Optimisasi Pelepasan Beban Pada Tingkat Pembebahan 80% dari Beban Dasar.

Ketika jaringan distribusi dibebani pada 80% dari beban dasar, total daya aktif dan reaktif dari beban dalam jaringan masing-masing adalah 18,167.20 kW dan 13,632.70 kVAR. Total pembangkitan daya maksimum dari 12 unit DG adalah 6,000 kW dengan faktor daya 0,8. Pada saat jaringan distribusi terisolasi, pemenuhan permintaan daya dilakukan dengan mengandalkan pembangkitan daya dari DG. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya defisit daya pembangkitan dan beban sebesar 12,167.20 kW. Pelepasan beban secara parsial diperlukan untuk mendapatkan keseimbangan daya antara pembangkitan DG dengan daya beban.

Ringkasan hasil optimisasi yang terdiri dari total daya beban 80% dari beban dasar (P_{load}), total pelepasan beban (P_{shed}), total daya beban yang tersisa di jaringan (P_{remain}), dan rugi-rugi daya pada jaringan (P_{loss}) setelah pelepasan beban yang dioptimisasi dengan algoritma GW-WOA yang diusulkan, standar GWO, dan standar WOA sebagai pembanding ditunjukkan pada tabel 3.4. Pengamatan dilakukan untuk iterasi perhitungan sebanyak 500 kali.

Tabel 3. 4 Ringkasan hasil optimisasi pelepasan beban untuk faktor pembebahan 80% dari beban dasar

Parameter	Algoritma Optimisasi		
	GW-WOA	WOA	GWO
P_{load} (kW)	18,167.20	18,167.20	18,167.20
P_{shed} (kW)	12,937.40	12,961.20	11,622.10
P_{remain} (kW)	5,230.90	5,205.70	6,545.30
P_{loss} (kW)	468.30	472.90	1,560.60
$P_{remain} + P_{loss}$ (kW)	5,699.20	5,678.60	8,105.90

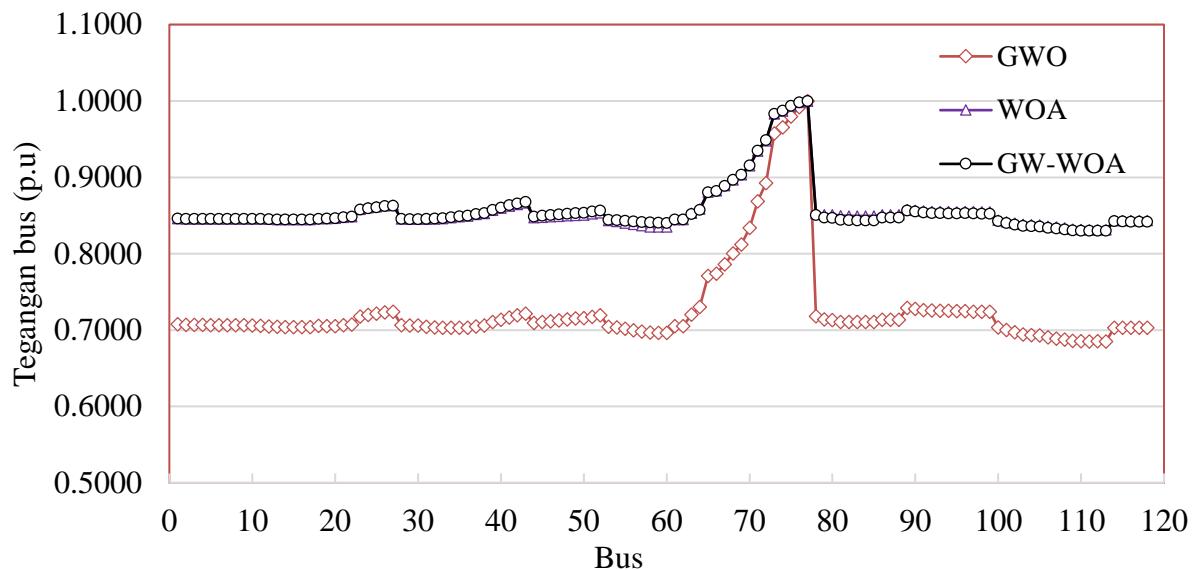
Dari tabel 3.4 dapat diamati bahwa dalam 500 iterasi algoritma GWO belum mampu memberikan hasil optimal dalam pelepasan beban. Hal ini ditunjukkan oleh nilai $P_{remain} = 6,545.30$ kW yang masih melebihi kapasitas pembangkitan maksimal yang bisa dihasilkan oleh

DG yaitu $P_{remain\ DG} = 6,000$ kW. Kondisi ini menunjukkan belum tercapainya keseimbangan daya beban dan daya pembangkitan DG. Terlebih lagi jika diperhitungkan nilai rugi dalam jaringan sebesar $P_{loss} = 468.30$ kW akan memperbesar defisit daya dalam jaringan.

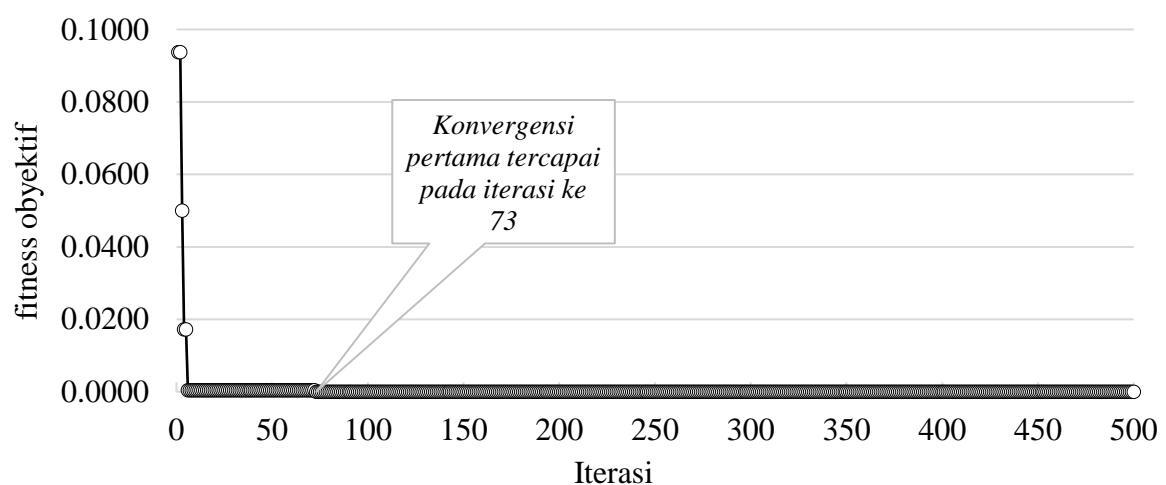
Algoritma *WOA* dan *GW-WOA* mampu memberikan hasil optimal. Algoritma *GW-WOA* menghasilkan nilai beban dilepaskan dari jaringan (P_{shed}) yang lebih rendah yaitu sebesar 12,937.40 kW dibandingkan dengan algoritma *WOA* sebesar 12,961.20 kW. Hasil ini menunjukkan bahwa *GW-WOA* dapat memberikan hasil yang paling optimal untuk meminimalkan beban yang dilepaskan dari jaringan.

Jika diamati dari beban tersisa dalam jaringan (P_{remain}), algoritma *GWO-WOA* dan *WOA* mampu menghasilkan pelepasan beban yang optimal dengan beban tersisa dalam jaringan masing-masing sebesar $P_{remain} = 5,230.90$ kW untuk algoritma *GW-WOA* dan $P_{remain} = 5,204.70$ kW untuk algoritma *WOA*. Rugi daya dalam jaringan setelah pelepasan beban adalah $P_{loss} = 468.30$ kW untuk algoritma *GW-WOA* dan $P_{loss} = 472.90$ kW untuk algoritma *WOA*. Defisit daya dalam jaringan mampu diatasi dan terwujud keseimbangan daya dalam jaringan dimana total daya beban tersisa dan rugi daya masih dibawah kapasitas pembangkitan maksimal dari DG. Hasil optimisasi pelepasan beban juga menunjukkan bahwa algoritma *GW-WOA* lebih baik dibandingkan *WOA* dimana daya beban yang tersisa dalam jaringan P_{remain} oleh algoritma *GW-WOA* lebih besar dibanding *WOA* dan rugi daya dalam jaringan P_{loss} dari algoritma *GW-WOA* yang lebih kecil dibandingkan algoritma *WOA*. Hal ini berarti bahwa kapasitas daya DG dapat dimanfaatkan secara maksimal dalam mempertahankan keberlanjutan pasokan daya ke beban selama kondisi isolasi terjadi.

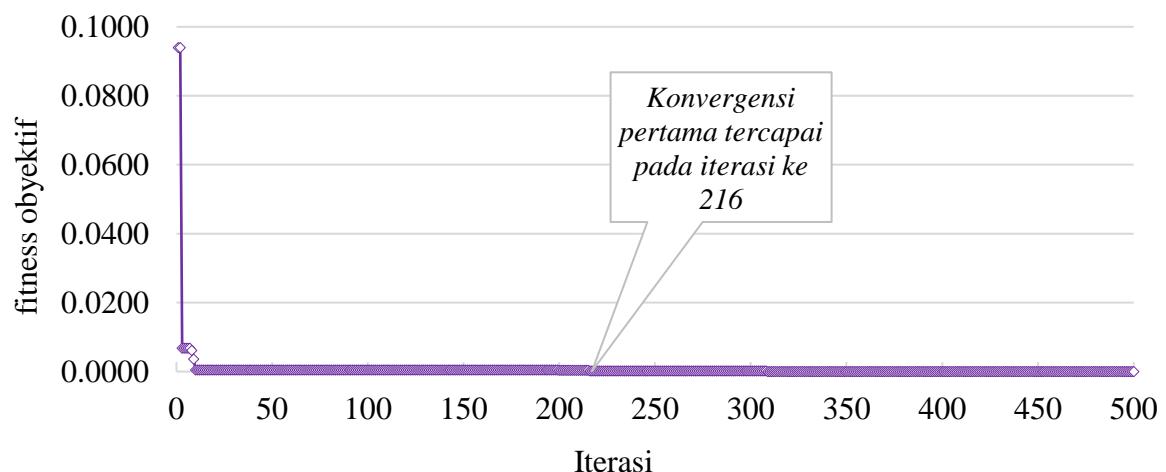
Profile tegangan setelah optimisasi pelepasan beban disajikan pada gambar 3.2. Dari gambar tersebut dapat diamati bahwa setelah optimisasi pelepasan beban dengan algoritma *GW-WOA*, kondisi tegangan bus dalam jaringan juga lebih baik dibandingkan hasil yang diberikan algoritma standar *WOA*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai tegangan keseluruhan bus yang lebih tinggi didapatkan dari algoritma *GW-WOA* dibandingkan dengan algoritma *WOA*.



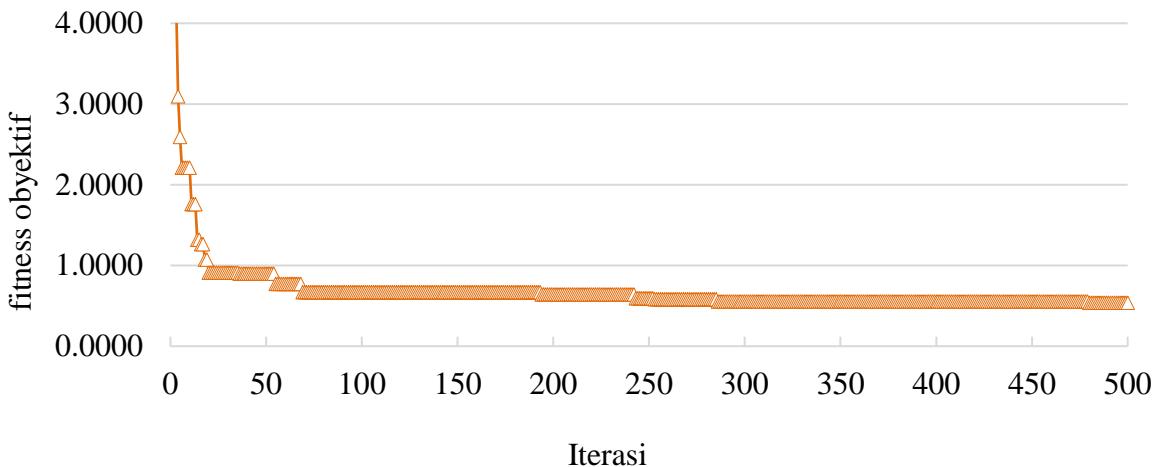
Gambar 3. 2 Profil tegangan bus dalam jaringan yang dibebani 80% dari beban dasar setelah optimisasi pelepasan beban dengan algoritma GW-WOA, standar WOA, dan standar GWO



(a) Algoritma GW-WOA



(b) Algoritma WOA



(c) Algoritma GWO

Gambar 3. 3 Karakteristik konvergensi algoritma dalam optimisasi pelepasan beban pada jaringan yang dibebani 80% dari beban dasar: (a) algoritma GW-WOA, (b) standar WOA, dan (c) standar GWO

Karakteristik konvergensi pada gambar 3.3 menunjukkan perbandingan kinerja dari ketiga algoritma dalam optimisasi pelepasan beban. Algoritma *GWO* menunjukkan hasil bahwa dalam 500 iterasi belum mampu mencapai hasil optimal dari pelepasan beban untuk mewujudkan keseimbangan daya dalam jaringan. Sementara untuk algoritma *GW-WOA* dan *WOA* mampu mencapai nilai untuk menentukan pelepasan beban sehingga terwujud keseimbangan daya dalam jaringan untuk mengatasi defisit daya saat terjadi isolasi jaringan. Semua algoritma dapat memberikan hasil yang optimal secara global.

Algoritma *GW-WOA* mampu menunjukkan kinerja yang lebih cepat dibandingkan dengan algoritma *WOA*. Dari gambar 3.3 dapat diamati bahwa algoritma *GW-WOA* mampu konvergen lebih cepat dibandingkan dengan algoritma *WOA*. Pada iterasi ke 73, algoritma *GW-WOA* telah mampu memberikan hasil optimal sedangkan algoritma *WOA* pada iterasi ke 216. Sedangkan algoritma *GWO* belum mampu mencapai nilai optimal hingga batas iterasi ke 500. Hasil ini menunjukkan bahwa hibridasi algoritma *GWO* dan *WOA* membentuk algoritma hibrid *GW-WOA* telah mampu meningkatkan kinerja secara signifikan dibandingkan dengan algoritma standar *GWO* dan standar *WOA*. Perbaikan kinerja yang didapatkan adalah dalam bentuk nilai optimal yang lebih baik dan proses optimisasi yang lebih cepat konvergen.

3.3. Studi Kasus-2: Optimisasi Pelepasan Beban Pada Tingkat Pembebanan 100% dari Beban Dasar

Pada saat pembebanan jaringan sebesar 100% dari beban dasar, total daya aktif dan reaktif dari beban dalam jaringan masing-masing adalah 22,709.70 kW dan 17,041.20 kVAR. Dengan total pembangkitan daya maksimum dari 12 unit DG sebesar 6,000 kW, defisit daya

jaringan saat terisolasi adalah 16,709.70 kW sehingga diperlukan pelepasan beban secara parsial untuk mendapatkan keseimbangan daya antara pembangkitan DG dengan daya beban.

Hasil optimisasi pelepasan beban yang terdiri dari total daya beban 100% dari beban dasar (P_{load}), total pelepasan beban (P_{shed}), total daya beban yang tersisa di jaringan (P_{remain}), dan rugi-rugi daya pada jaringan (P_{loss}) setelah pelepasan beban yang dioptimisasi dengan algoritma *GW-WOA* yang diusulkan, standar *GWO*, dan standar *WOA* sebagai banding ditunjukkan pada tabel 3.5. Pengamatan dilakukan untuk iterasi perhitungan sebanyak 500 kali.

Tabel 3. 5 Hasil optimisasi pelepasan beban untuk faktor pembebanan 100% dari beban dasar

Parameter	Algoritma Optimisasi		
	<i>GW-WOA</i>	<i>WOA</i>	<i>GWO</i>
P_{load} (kW)	22,709.70	22,709.70	22,709.70
P_{shed} (kW)	17,492.20	17,537.30	16,152.10
P_{remain} (kW)	5,217.60	5,172.10	6,557.80
P_{loss} (kW)	459.00	510.60	1,571.20
$P_{remain} + P_{loss}$ (kW)	5,676.60	5,682.70	8,129.00

Dari tabel 3.4 dapat diamati bahwa dalam 500 iterasi algoritma *GWO* belum mampu memberikan hasil optimal dalam pelepasan beban. Hal ini ditunjukkan oleh nilai $P_{remain} = 6,557.80$ kW yang masih melebihi kapasitas pembangkitan maksimal yang bisa dihasilkan oleh DG yaitu $P_{max DG} = 6,000$ kW. Kondisi ini menunjukkan belum tercapainya keseimbangan daya beban dan daya pembangkitan DG. Defisit daya dalam jaringan masih tetap terjadi dikarenakan total daya beban tersisa dan rugi daya dalam jaringan masih melebihi dari kapasitas pembangkitan daya dai keseluruhan unit DG.

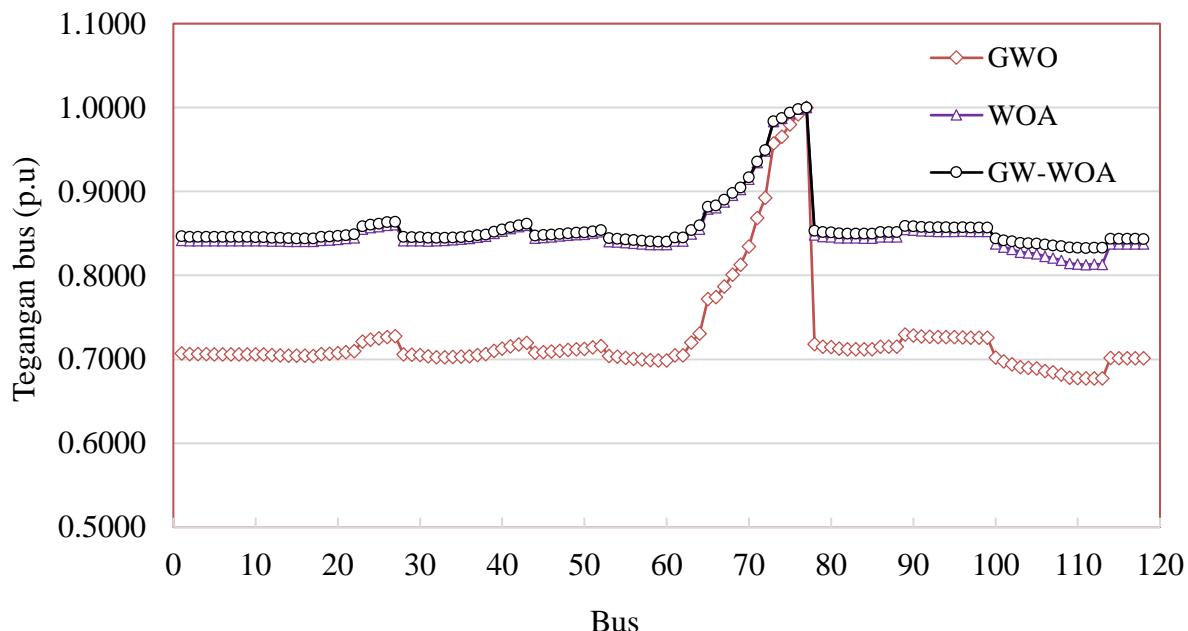
Untuk algoritma *WOA* dan *GW-WOA* mampu memberikan hasil optimal dari pelepasan beban. Algoritma *GW-WOA* menghasilkan nilai beban dilepaskan dari jaringan (P_{shed}) yang lebih rendah yaitu sebesar 17,492.20 kW dibandingkan dengan algoritma *WOA* sebesar 17,537.30 kW. Hasil ini menunjukkan bahwa *GW-WOA* dapat memberikan hasil yang paling optimal untuk meminimalkan beban yang dilepaskan dari jaringan.

Jika diamati dari beban tersisa dalam jaringan (P_{remain}), algoritma *GWO-WOA* dan *WOA* mampu menghasilkan pelepasan beban yang optimal. Beban tersisa dalam jaringan masing-masing sebesar $P_{remain} = 5,217.60$ kW untuk algoritma *GW-WOA* dan $P_{remain} = 5,172.10$ kW untuk algoritma *WOA*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa algoritma *GW-WOA* mmberikan hasil lebih baik dimana beban yang bisa dipertahankan dalam jaringan adalah lebih besar dibandingkan algoritma *WOA*.

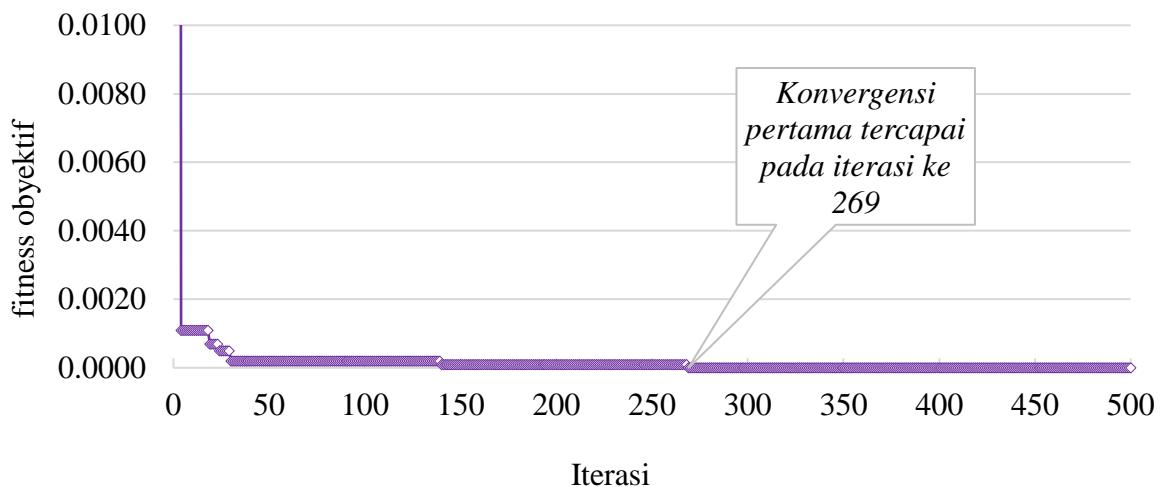
Rugi daya dalam jaringan setelah optimisasi pelepasan beban adalah $P_{loss} = 459.00$ kW untuk algoritma *GW-WOA* dan $P_{loss} = 472.90$ kW untuk algoritma *WOA*. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa algoritma *GW-WOA* mampu memberikan hasil optimisasi yang lebih baik, dimana rugi-rugi dalam jaringan setelah pelepasan beban bernilai paling rendah sehingga jaringan lebih efisien.

Defisit daya dalam jaringan mampu diatasi dan terwujud keseimbangan daya dalam jaringan dimana total daya beban tersisa dan rugi daya masih dibawah kapasitas pembangkitan maksimal dari DG. Hasil optimisasi pelepasan beban juga menunjukkan bahwa algoritma *GW-WOA* lebih baik dibandingkan *WOA* dimana daya beban yang tersisa dalam jaringan P_{remain} oleh algoritma *GW-WOA* lebih besar dibanding *WOA* dan rugi daya dalam jaringan P_{loss} dari algoritma *GW-WOA* yang lebih kecil dibandingkan algoritma *WOA*. Hal ini berarti bahwa kapasitas daya DG dapat dimanfaatkan secara maksimal dalam mempertahankan keberlanjutan pasokan daya ke beban selama kondisi isolasi terjadi.

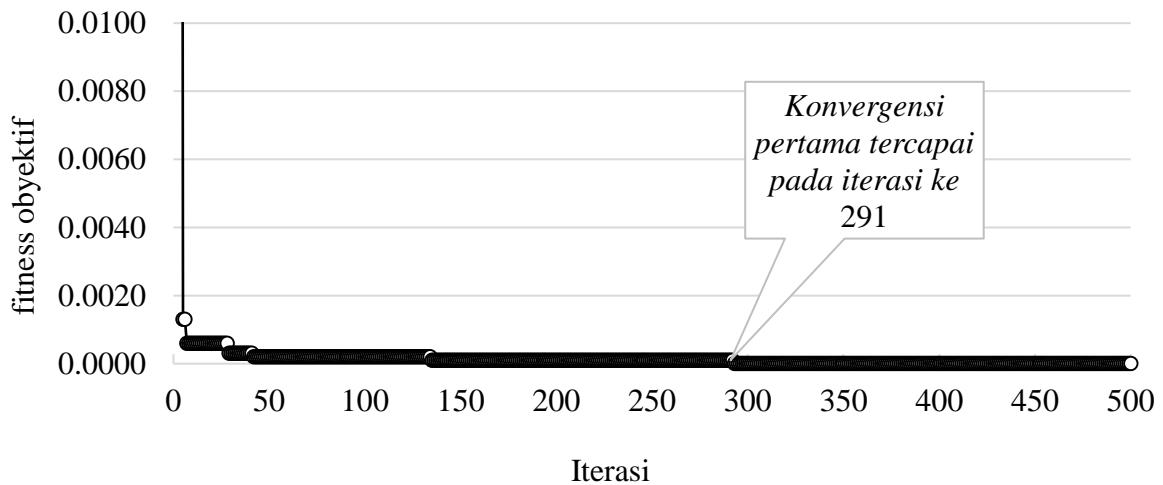
Profile tegangan setelah optimisasi pelepasan beban disajikan pada gambar 3.4. Dari gambar tersebut dapat diamati bahwa setelah optimisasi pelepasan beban dengan algoritma *GW-WOA*, kondisi tegangan bus dalam jaringan juga lebih baik dibandingkan hasil yang diberikan algoritma standar *WOA*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai tegangan keseluruhan bus yang lebih tinggi didapatkan dari algoritma *GW-WOA* dibandingkan dengan algoritma *WOA*.



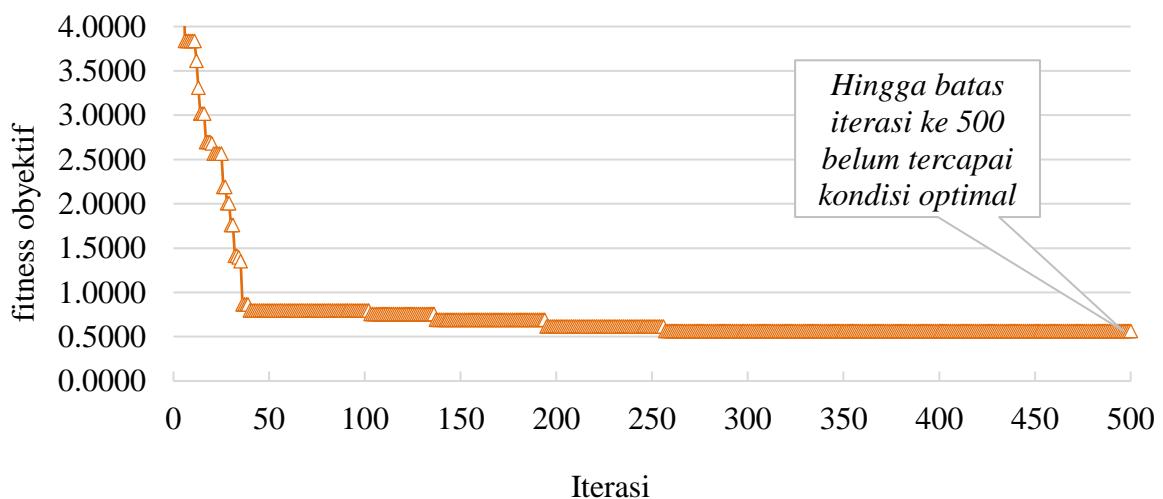
*Gambar 3. 4 Profil tegangan bus dalam jaringan yang dibebani 100% dari beban dasar setelah optimisasi pelepasan beban dengan algoritma *GW-WOA*, standar *WOA*, dan standar *GWO**



(a) Algoritma GW-WOA



(b) Algoritma WOA



(c) Algoritma GWO

Gambar 3. 5 Karakteristik konvergensi algoritma dalam optimisasi pelepasan beban pada jaringan yang dibebani 100% dari beban dasar: (a) algoritma GW-WOA, (b) standar WOA, dan (c) standar GWO

Karakteristik konvergensi pada gambar 3.5 menunjukkan perbandingan kinerja dari ketiga algoritma dalam optimisasi pelepasan beban. Algoritma *GWO* menunjukkan hasil bahwa dalam 500 iterasi belum mampu mencapai hasil optimal dari pelepasan beban untuk mewujudkan keseimbangan daya dalam jaringan. Sementara untuk algoritma *GW-WOA* dan *WOA* mampu mencapai nilai untuk menentukan pelepasan beban sehingga terwujud keseimbangan daya dalam jaringan untuk mengatasi defisit daya saat terjadi isolasi jaringan. Semua algoritma dapat memberikan hasil yang optimal secara global.

Algoritma *GW-WOA* mampu menunjukkan kinerja yang lebih cepat dibandingkan dengan algoritma *WOA*. Dari gambar 3.3 dapat diamati bahwa algoritma *GW-WOA* mampu konvergen lebih cepat dibandingkan dengan algoritma *WOA*. Pada iterasi ke 269, algoritma *GW-WOA* telah mampu memberikan hasil optimal sedangkan algoritma *WOA* pada iterasi ke 291. Sedangkan algoritma *GWO* belum mampu mencapai nilai optimal hingga batas iterasi ke 500. Hasil ini menunjukkan bahwa pada tingkat pembebahan jaringan 100% dari beban dasar, algoritma *GW-WOA* tetap menunjukkan keunggulannya dibandingkan dengan algoritma standar *GWO* dan standar *WOA*.

3.4. Studi Kasus-3: Optimisasi Pelepasan Beban Pada Tingkat Pembebahan 140% dari Beban Dasar

Pada saat pembebahan jaringan sebesar 140% dari beban dasar, total daya aktif dan reaktif dari beban dalam jaringan masing-masing adalah 31,793.20 kW dan 23,857.20 kVAR. Dengan total pembangkitan daya maksimum dari 12 unit DG sebesar 6,000 kW, defisit daya jaringan saat terisolasi adalah 25,932.20 kW dan nilai tersebut merupakan jumlah daya beban yang harus dilepaskan dari jaringan untuk mendapatkan keseimbangan daya antara pembangkitan DG dengan daya beban yang tersisa dalam jaringan.

Hasil optimisasi pelepasan beban yang terdiri dari total daya beban 140% dari beban dasar (P_{load}), total pelepasan beban (P_{shed}), total daya beban yang tersisa di jaringan (P_{remain}), dan rugi-rugi daya pada jaringan (P_{loss}) setelah pelepasan beban yang dioptimisasi dengan algoritma *GW-WOA* yang diusulkan, standar *GWO*, dan standar *WOA* sebagai pembanding ditunjukkan pada tabel 3.6. Pengamatan dilakukan untuk iterasi perhitungan sebanyak 500 kali.

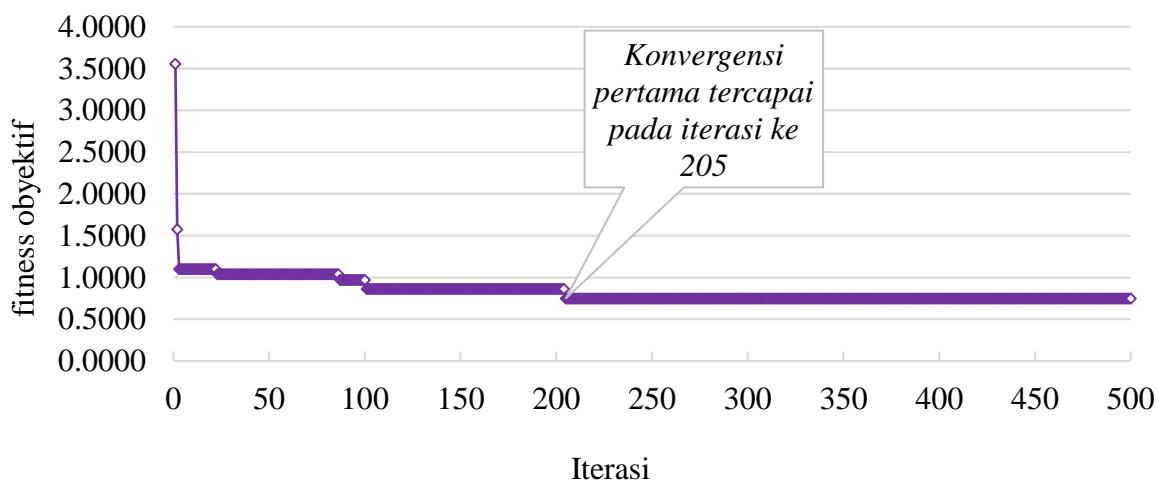
Tabel 3. 6 Hasil optimisasi pelepasan beban untuk faktor pembebahan 80% dari beban dasar

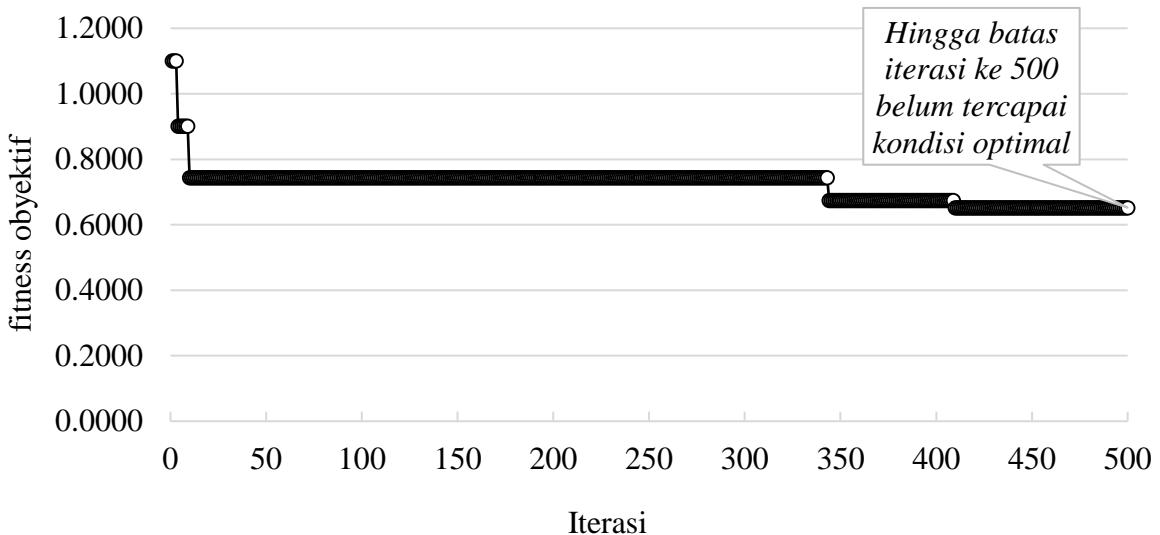
Parameter	Algoritma Optimisasi
-----------	----------------------

	<i>GW-WOA</i>	<i>WOA</i>	<i>GWO</i>
P_{load} (kW)	31,792.20	31,792.20	31,792.20
P_{shed} (kW)	26,587.20	25,121.10	24,561.00
P_{remain} (kW)	5,206.70	6,672.50	7,232.60
P_{loss} (kW)	769.30	1,683.80	3,020.20
$P_{remain} + P_{loss}$ (kW)	5,976.0	8,356.30	10,252.80

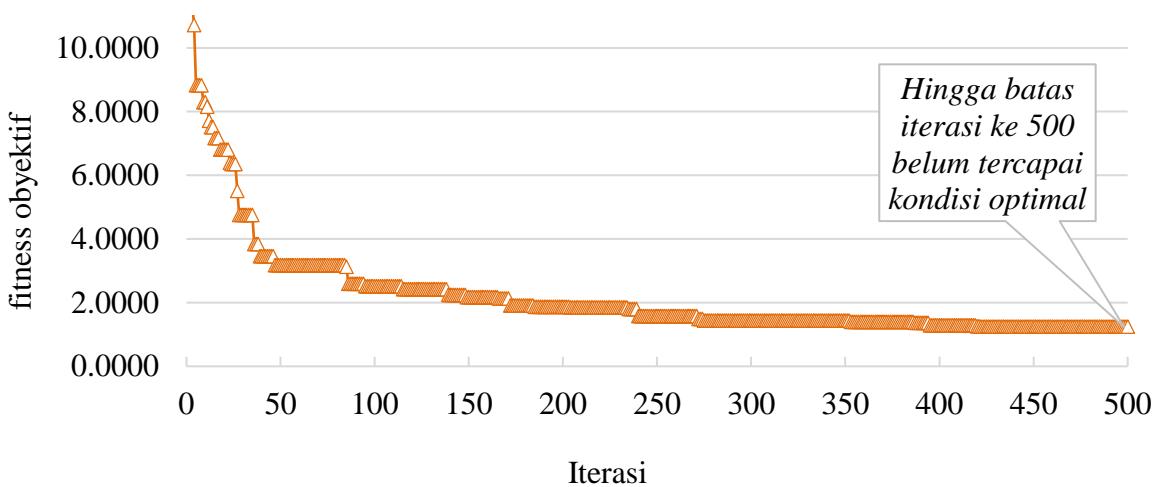
Dari tabel 3.6 dapat diamati bahwa dalam 500 iterasi algoritma standar *GWO* dan *WOA* belum mampu memberikan hasil optimal dalam pelepasan beban. Hal ini ditunjukkan oleh nilai P_{remain} masing-masing sebesar 6,672.50 kW dan 7,232.60 kW. Nilai-nilai tersebut masih melebihi kapasitas pembangkitan maksimal yang bisa dihasilkan oleh DG yaitu $P_{max\ DG} = 6,000$ kW. Kondisi ini menunjukkan belum tercapainya keseimbangan daya beban dan daya pembangkitan DG. Defisit daya dalam jaringan masih tetap terjadi dikarenakan total daya beban tersisa dan rugi daya dalam jaringan masih melebihi dari kapasitas pembangkitan daya dari keseluruhan unit DG.

Untuk algoritma *GW-WOA* mampu memberikan hasil optimal dari pelepasan beban. Algoritma *GW-WOA* menghasilkan nilai beban dilepaskan dari jaringan (P_{shed}) sebesar 26,587.20 kW. Beban tersisa dalam jaringan (P_{remain}) sebesar 5,206.70 kW dan rugi daya (P_{loss}) sebesar 769.30 kW. Total jumlah P_{remain} dan P_{loss} adalah sebesar 5,976.00 kW. Nilai tersebut masih dibawah kapasitas pembangkitan daya dari DG. Hasil tersebut menunjukkan bahwa algoritma *GW-WOA* memberikan hasil yang optimal dalam pelepasan beban dan mampu mewujudkan keseimbangan daya dalam jaringan.





(b) Algoritma WOA



(c) Algoritma GWO

Gambar 3. 6 Karakteristik konvergensi algoritma dalam optimisasi pelepasan beban pada jaringan yang dibebani 140% dari beban dasar: (a) algoritma GW-WOA, (b) standar WOA, dan (c) standar GWO

Karakteristik konvergensi pada gambar 3.6 menunjukkan perbandingan kinerja dari ketiga algoritma dalam optimisasi pelepasan beban. Algoritma GW-WOA mampu menunjukkan kinerja yang lebih unggul dimana konvergen pertama tercapai pada iterasi ke 205. Sedangkan untuk algoritma GWO dan WOA belum mencapai konvergen hingga pada batas akhir iterasi ke 500.

3.5. Analisa Hasil Optimisasi Pelepasan Beban

Dari hasil optimisasi pelepasan beban untuk berbagai tingkat pembebanan pada tiap studi kasus, didapatkan perbandingan sebagaimana disajikan pada tabel 3.7 berikut ini.

Tabel 3. 7 Perbandingan hasil optimisasi pelepasan beban untuk tingkat pembebanan 80%, 100%, dan 140% dari beban dasar

Beban	Parameter	Algoritma Optimisasi			Justifikasi
		GW-WOA	WOA	GWO	
80 % dari beban dasar	P_{load} (kW)	18,167.20	18,167.20	18,167.20	Algoritma GW-WOA konvergen paling cepat dengan hasil paling optimal : - Beban yang dilepaskan adalah minimal - Beban yang dipertahankan adalah maksimal - Rugi daya minimal
	P_{shed} (kW)	12,937.40	12,961.20	11,622.10	
	P_{remain} (kW)	5,230.90	5,205.70	6,545.30	
	P_{loss} (kW)	468.30	472.90	1,560.60	
	$P_{remain} + P_{loss}$ (kW)	5,699.20	5,678.60	8,105.90	
100 % dari beban dasar	P_{load} (kW)	22,709.70	22,709.70	22,709.70	Algoritma GWO gagal
	P_{shed} (kW)	17,492.20	17,537.3	16,152.10	
	P_{remain} (kW)	5,217.60	5,172.10	6,557.80	
	P_{loss} (kW)	459.00	510.60	1,571.20	
	$P_{remain} + P_{loss}$ (kW)	5,676.60	5,682.70	8,129.00	
140 % dari beban dasar	P_{load} (kW)	31,792.20	31,792.20	31,792.20	Algoritma GW-WOA konvergen dan memberikan hasil paling optimal. Algoritma GWO dan WOA gagal konvergen.
	P_{shed} (kW)	26,587.20	25,121.10	24,561.00	
	P_{remain} (kW)	5,206.70	6,672.50	7,232.60	
	P_{loss} (kW)	769.30	1,683.80	3,020.20	
	$P_{remain} + P_{loss}$ (kW)	5,976.0	8,356.30	10,252.80	

Dari keseluruhan hasil tersebut menunjukkan bahwa algoritma *GW-WOA* sebagai hasil dari hibridasi antara algoritma standar *GWO* dan *WOA* telah mampu menunjukkan kinerja yang lebih baik. Keunggulan kinerja algoritma *GW-WOA* dibuktikan dengan kemampuannya untuk konvergen lebih cepat dan hasil yang lebih optimal dibandingkan dengan algoritma standar *GWO* dan *WOA*.

BAB 4

PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Jaringan distribusi tenaga listrik adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang berperan untuk mendistribusikan tenaga listrik menuju beban. Perkembangan teknologi dalam bidang distribusi tenaga listrik telah membuka peluang untuk mengintegrasikan pembangkit berskala kecil yang lebih dikenal sebagai *distributed generation* (DG). Tujuan utama pemasangan DG adalah untuk memperbaiki kinerja jaringan distribusi dalam hal regulasi tegangan pada jaringan. Integrasi DG juga membuka peluang untuk solusi dalam mempertahankan keberlanjutan pasokan daya listrik ke beban penting pada saat jaringan distribusi mengalami isolasi dari jaringan utama. Pada saat jaringan distribusi terisolasi dari jaringan utama menyebabkan defisit daya dalam jaringan sebagai akibat terputusnya pasokan daya listrik dari jaringan utama.

Strategi pelepasan beban adalah salah satu solusi penting untuk mengembalikan keseimbangan daya dalam jaringan. Pelepasan beban harus dilakukan dengan tepat dan mempertimbangkan beban penting atau prioritas untuk tetap dipertahankan dalam jaringan. Untuk itu diperlukan optimisasi pelepasan beban sehingga bisa didapatkan kombinasi pelepasan beban yang paling optimal. Algoritma metaheuristik adalah algoritma berbasis pada kecerdasan yang dimiliki oleh sekawan hewan yang banyak diimplementasikan pada optimisasi sistem tenaga listrik. Masing-masing algoritma memiliki karakteristik dengan kekurangan dan kelebihan masing-masing. Hibridasi algoritma dengan mengkombinasikan secara paralel membuka peluang perbaikan kinerja dari algoritma dengan memanfaatkan kelebihan masing-masing algoritma yang terlibat dalam hibridasi.

Pada penelitian ini telah dilakukan hibrid paralel antara algoritma *Grey Wolf Optimizer* (*GWO*) dan *Whale Optimization Algorithm* (*WOA*) untuk membentuk algoritma *GW-WOA* yang diterapkan pada optimisasi pelepasan beban pada jaringan distribusi yang terisolasi. Sistem uji yang digunakan adalah jaringan distribusi radial IEEE 118 bus yang terintegrasi dengan 12 unit DG dengan variasi tingkat pembebangan ulai dari 80%, 100%, dan 140% dari beban dasar. Sebagai obyektif optimisasi adalah meminimalkan beban yang dilepaskan dari jaringan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma hibrid paralel *GW-WOA* memiliki kinerja yang lebih unggul dibandingkan algoritma standar *GWO* dan *WOA*. Pada tingkat pembebangan 80% dan 100%, algoritma standar *GWO* tidak mampu konvergen untuk menghasilkan pelepasan beban yang optimal. Algoritma *GW-WOA* mampu konvergen lebih

cepat dan memberikan hasil yang lebih optimal dibandingkan algoritma *WOA*. Pada tingkat pembebangan 80%, algoritma *GW-WOA* konvergen pada iterasi ke 73 sedangkan algoritma standar *WOA* pada iterasi ke 216. Jumlah beban yang dilepaskan dengan algoritma *GW-WOA* adalah 12,937.40 kW lebih rendah dibanding algoritma *WOA* yaitu sebesar 12,961.20 kW. Pada tingkat pembebangan 100% dari beban dasar, algoritma *GW-WOA* tetap menunjukkan kinerja yang lebih unggul dengan konvergen pada iterasi ke 269 yang lebih cepat dibanding algoritma *WOA* yang konvergen pada iterasi ke 291. Pelepasan beban yang didapatkan dengan algoritma *GW-WOA* lebih optimal dengan beban yang dilepaskan sebesar 17,492.20 kW lebih kecil dibandingkan hasil algoritma *WOA* sebesar 17,537.30 kW. Pada pembebangan 140% dari beban dasar, algoritma standar *GWO* dan *WOA* tidak mampu konvergen, sedangkan algoritma hibrid *GWO-WOA* masih menunjukkan kinerja yang unggul dengan konvergen pada iterasi ke 205 dengan jumlah beban yang dilepaskan dari jaringan adalah sebesar 26,587.20 kW sehingga terwujud keseimbangan daya dalam jaringan.

4.2. Future Work

Strategi operasional jaringan distribusi masih sangat menarik untuk dilakukan kajian lebih mendalam. Untuk itu pada penelitian mendatang akan dikembangkan strategi operasional jaringan distribusi dengan menerapkan optimisasi penempatan dan kapasitas DG, serta rekonfigurasi jaringan untuk meningkatkan efisiensi jaringan distribusi dengan mempertimbangkan fluktuasi beban harian dan ketersediaan energi terbarukan sebagai sumber dari DG.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. H. B. Huy, D. N. Vo, K. H. Truong, and T. Van Tran, “Optimal Distributed Generation Placement in Radial Distribution Networks Using Enhanced Search Group Algorithm,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 103288–103305, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3316725.
- [2] L. A. Alnabi, A. K. Dhaher, and M. B. Essa, “Optimal Allocation of Distributed Generation with Reconfiguration by Genetic Algorithm Using Both Newton Raphson and Gauss Seidel Methods for Power Losses Minimizing,” *Int. J. Intell. Eng. Syst.*, vol. 15, no. 1, pp. 464–476, 2022, doi: 10.22266/IJIES2022.0228.42.
- [3] V. V. V. S. N. Murty and A. Kumar, “Optimal DG integration and network reconfiguration in microgrid system with realistic time varying load model using hybrid optimisation,” *IET Smart Grid*, vol. 2, no. 2, pp. 192–202, 2019, doi: 10.1049/iet-stg.2018.0146.
- [4] J. Xu *et al.*, “Load Shedding and Restoration for Intentional Island with Renewable Distributed Generation,” *J. Mod. Power Syst. Clean Energy*, vol. 9, no. 3, pp. 612–624, 2021, doi: 10.35833/MPCE.2019.000062.
- [5] A. Khamis, H. Shareef, A. Mohamed, and Z. Y. Dong, “A load shedding scheme for DG integrated islanded power system utilizing backtracking search algorithm,” *Ain Shams Eng. J.*, vol. 9, no. 1, pp. 161–172, 2018, doi: 10.1016/j.asej.2015.10.001.
- [6] A. K. Barnwal, L. K. Yadav, and M. K. Verma, “A Multi-Objective Approach for Voltage Stability Enhancement and Loss Reduction under PQV and P Buses Through Reconfiguration and Distributed Generation Allocation,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 16609–16623, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3146333.
- [7] S. Kamel, M. Khasanov, F. Jurado, A. Kurbanov, H. M. Zawbaa, and M. A. Alathbah, “Simultaneously Distributed Generation Allocation and Network Reconfiguration in Distribution Network Considering Different Loading Levels,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 105916–105934, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3319456.
- [8] V. Tamilselvan, “A hybrid PSO-ABC algorithm for optimal load shedding and improving voltage stability,” *Int. J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 34, no. 6, pp. 577–597, 2020, doi: 10.1504/IJMTM.2020.109999.
- [9] R. M. Larik, M. W. Mustafa, M. N. Aman, T. A. Jumani, S. Sajid, and M. K. Panjwani, “An improved algorithm for optimal load shedding in power systems,” *Energies*, vol. 11, no. 7, pp. 1–16, 2018, doi: 10.3390/en11071808.
- [10] J. Jallad, S. Mekhilef, H. Mokhlis, J. Laghari, and O. Badran, “Application of hybrid meta-heuristic techniques for optimal load shedding planning and operation in an islanded distribution network integrated with distributed generation,” *Energies*, vol. 11, no. 5, pp. 1134–1158, 2018, doi: 10.3390/en11051134.
- [11] M. Wang and J. Zhong, “Islanding of systems of distributed generation using optimization methodology,” *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, pp. 1–7, 2012, doi: 10.1109/PESGM.2012.6345009.
- [12] L. M. Cruz, D. L. Alvarez, A. S. Al-Sumaiti, and S. Rivera, “Load curtailment optimization using the PSO algorithm for enhancing the reliability of distribution networks,” *Energies*, vol. 13, no. 12, pp. 1–15, 2020, doi: 10.3390/en13123236.
- [13] S. K. Mosavi, E. Jalalian, and F. S. Gharahchopog, “a Comprehensive Survey of Grey Wolf Optimizer Algorithm and Its Application,” *Int. J. Adv. Robot. Expert Syst.*, vol. 1,

no. 6, pp. 23–45, 2021.

- [14] S. Mirjalili and A. Lewis, “The Whale Optimization Algorithm,” *Adv. Eng. Softw.*, vol. 95, pp. 51–67, 2016, doi: 10.1016/j.advengsoft.2016.01.008.
- [15] S. Mirjalili, S. M. Mirjalili, and A. Lewis, “Grey Wolf Optimizer,” *Adv. Eng. Softw.*, vol. 69, pp. 46–61, 2014, doi: 10.1016/j.advengsoft.2013.12.007.
- [16] H. Hartono, M. Azis, and Y. Muharni, “Optimal Capacitor Placement for IEEE 118 Bus System by Using Genetic Algorithm,” *Proc. 2nd Int. Conf. High Volt. Eng. Power Syst. Towar. Sustain. Reliab. Power Deliv. ICHVEPS 2019*, vol. 1, no. 3, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011111.
- [17] D. Zhang, Z. Fu, and L. Zhang, “An improved TS algorithm for loss-minimum reconfiguration in large-scale distribution systems,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 77, no. 5–6, pp. 685–694, 2007, doi: 10.1016/j.epsr.2006.06.005.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Realisasi Penggunaan Anggaran

Realisasi Anggaran: **Rp 12.500.000,00**

Jenis Pembelajaan	Komponen	Item	Kuantitas	Biaya Satuan	Total
Belanja Bahan	ATK	Penggandaan Laporan	3 (lumpsum)	100.000	300.000
Belanja Bahan	ATK	Tinta printer	1 (set)	300.000	300.000
Belanja Bahan	ATK	Kertas HVS A4 80 gr	2 (rim)	50.000	100.000
Belanja Bahan	Bahan habis pakai	Jetson Nano Developer kit Demo Board AI Development Board FaTHOR	2 (set)	4.250.000	8.500.000
Pengumpulan Data	Pengumpulan data	Honor administrasi peneliti	6 (org.bulan)	300.000	1.800.000
Pengolahan Data	Analisa Data	Honor pengolah data	1 (penelitian)	1.000.000	1.000.000
Lainnya	Biaya pendaftaran HKI	Biaya HKI	1 (paket)	500.000	500.000

Lampiran 2. Biodata Ketua dan Anggota Tim Peneliti

I. Ketua Peneliti :

A. Identitas Diri

1. Nama Lengkap (dengan gelar) : Dr. Sujono, ST., MT.
2. Jenis Kelamin : Pria
3. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
4. NIP/NIDN/ID-SINTA : 990002/0331087101/5984639
5. Tempat, Tanggal Lahir : Karanganyar, 31 Agustus 1972
6. E-mail : sujono@budiluhur.ac.id
7. Nomor Handphone : 081218278184
8. Alamat : Jl. M Masan no 73, RT 03, RW 05, Kunciran, Pinang, Kota Tangerang, Banten

B. Riwayat Pendidikan

	S1	S2	S3
Nama Perguruan Tinggi	Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Universitas Indonesia	Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Bidang Ilmu	Teknik	Teknik	Teknik
Tahun Masuk-Lulus	1991-1997	2000-2003	2020-2024

C. Pengalaman Penelitian (5 Tahun Terakhir)

No.	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber*	Jumlah (Rp)
1.	2021	<i>Optimal Power Flow</i> Untuk Jaringan Radial dan Loop Menggunakan Modifikasi Metode Kontinyu <i>Newton</i> <i>Raphson</i> dan <i>Firefly</i> Dengan Mempertimbangkan <i>Defence Scheme</i> dan <i>Resilience</i> Pada <i>Smart Grid</i>	Institut Teknologi Sepuluh Nopember	87.730.000
2.	2022	<i>Optimal Power Flow</i> Untuk Jaringan Radial dan Loop Menggunakan Modifikasi Metode Kontinyu <i>Newton</i> <i>Raphson</i> dan <i>Firefly</i> Dengan Mempertimbangkan <i>Defence Scheme</i> dan <i>Resilience</i> Pada <i>Smart Grid</i>	Institut Teknologi Sepuluh Nopember	77.239.000,-
3.	2023	<i>Optimal Power Flow</i> Untuk Jaringan Radial dan Loop Menggunakan Modifikasi Metode	Institut Teknologi Sepuluh Nopember	89.132.000,-

		Kontinyu <i>Newton Raphson</i> dan <i>Firefly</i> Dengan Mempertimbangkan <i>Defence Scheme</i> dan <i>Resilience</i> Pada <i>Smart Grid</i>		
4	2023	Algoritma <i>Hybrid Firefly-Particle Swarm Optimization</i> Untuk <i>Optimal Power Flow</i> Yang Multiterap Pada Jaringan Sistem Tenaga Listrik Radial dan Mesh	Universitas Budi Luhur	11.400.000,-

* Tuliskan sumber pendanaan baik dari Universitas Budi Luhur maupun dari sumber lainnya.

D. Publikasi Artikel Ilmiah dalam Jurnal (5 Tahun Terakhir)

No.	Judul Artikel Ilmiah*	Nama Jurnal	Volume/No/Tahun
1.	A Hybrid Adaptively Modified Firefly and Differential Evolution in DG Integration Optimization for Improving the Radial Power Distribution Networks	International Journal of Intelligent Engineering and Systems	Vol. 16 No. 05 Th. 2023
2.	Parallel Hybrid Particles Swarm-Grey Wolf Algorithm for Optimal Load hedding in an Isolated Network	Janapati	Vol. 13 No. 1 Th. 2024
3.	Perancangan Mobil Listrik Menggunakan Motor DC Brushed 36 Volt 450 Watt	KILAT	Vol. 11 No. 1 Th. 2022
4	Sistem Pendinginan Panel Surya dengan Metode Penyemprotan Air dan Pengontrolan Suhu Air menggunakan Peltier	Elkomika	Vol. 10 No. 3 Th. 2022
5	Potential Usage of Solar Energy as a Renewable Energy Source in Petukangan Utara, South Jakarta	Rekayasa Elektrika	Vol. 17 No. 4 Th. 2021
6	Perancangan Pembangkit Listrik Termoelektrik pada Proses Refrigerasi Air Conditioner dengan Metode Fuzzy Logic	Elkomika	Vol. 9 No. 1 Th. 2021
7	Pemberdayaan Masyarakat Pada Pembuatan Blender Sampah Untuk Bahan Baku Biogas Di Perumahan Pondok Lakah Permai	Tekno	Vol. 1 No. 2 Th. 2020

* Artikel ilmiah sebagai luaran dari kegiatan penelitian

E. Pemakalah Seminar Ilmiah (5 Tahun Terakhir)

No.	Nama Temu Ilmiah/Seminar	Judul Artikel Ilmiah*	Waktu dan Tempat
-----	--------------------------	-----------------------	------------------

1.	ICCD (International Conference on Community Development)	Education About Basic Electricity in Residential Homes and Solutions to Electrical Problems for The Residents of Pondok Lakah Permai	16 Nov 2022 Jakarta
2.	International Electronics Symposium	Optimal Generation Scheduling Considering Distributed Generator for Cost Minimization based on Adaptive Modified Firefly Algorithm	29-30 Sept 2021 Surabaya
3.	International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems(ISRITI)	2D Heat Distribution Mapping of Monocrystalline Type Photovoltaic Placed in Universitas Budi Luhur Jakarta	05-06 Des 2019 Yogyakarta
4	Konferensi Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat dan Corporate Social Responsebility	Penyuluhan Teknik Penggunaan Listrik Hemat Energi Dan Cara Menghitung Tagihan Listrik Dari Kwh Meter	2019 Tangerang

* Artikel ilmiah sebagai luaran dari kegiatan penelitian

F. Perolehan HKI (5 Tahun Terakhir)

No.	Judul/Tema HKI*	Tahun	Jenis	Nomor P/ID
1.	Desain Alat Peleburan Sampah Plastik Residu Dengan Kendali Suhu Otomatis Menggunakan Algoritma Proporsional Integral Dan Diferensial	2024	Hak Cipta	000796697
2.	Education About Basic Electricity in Residential Homes and Solutions to Electrical Problems for The Residents of Pondok Lakah Permai	2023	Hak Cipta	000518273
3.	Pemberdayaan Masyarakat Pada Pembuatan Blender Sampah Untuk Bahan Baku Biogas Di Perumahan Pondok Lakah Permai	2024	Hak Cipta	000612653

* HKI sebagai luaran dari kegiatan penelitian

Jakarta, 6 Feb 2025



(Sujono, ST., MT.)

II. Anggota Tim Peneliti

A. Identitas Diri

9. Nama Lengkap (dengan gelar) : Akhmad Musafa, S.T., M.T.
 10. Jenis Kelamin : Laki-laki
 11. Jabatan Fungsional : Lektor
 12. NIP/NIDN/ID-SINTA : 040056/ 0307028001
 13. Tempat, Tanggal Lahir : Brebes, 7 Februari 1980
 14. E-mail : akhmad.musafa@budiluhur.ac.id
 15. Nomor Handphone : 08111574710
 16. Alamat : Pondok Lakah Permai Blok H/4 RT.002/016
 Paninggilan, Ciledug, Kota Tangerang

B. Riwayat Pendidikan

	S1	S2	S3
Nama Perguruan Tinggi	Universitas Budi Luhur	Universitas Indonesia	
Bidang Ilmu	Teknik Elektro	Teknik Elektro	
Tahun Masuk-Lulus	1999 - 2004	2005- 2007	

C. Pengalaman Penelitian (5 Tahun Terakhir)

No.	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber*	Jumlah (Rp)
1.	2024	Perancangan Sistem Fotovoltaik-Solar Concentrator untuk Catu Daya Pompa Air Sistem Irigasi Pertanian dengan Mempertimbangkan Hasil Prediksi Iradiasi Matahari	Kemdikbud	42.080.000

* Tuliskan sumber pendanaan baik dari Universitas Budi Luhur maupun dari sumber lainnya.

D. Publikasi Artikel Ilmiah dalam Jurnal (5 Tahun Terakhir)

No.	Judul Artikel Ilmiah*	Nama Jurnal	Volume/Nomor/Tahun
1.	Solar Tracker-Rainfall Collector On Small-Scale Hybrid Photovoltaic-Pumped Hydro Systems To Increase Stored Energy	IEEE Access	Volume 12 Tahun 2024
2.	Pendampingan Masyarakat Dalam Pembuatan Biodigester Mini Skala Rumah Tangga	JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)	Vol 7, No 5 (2023): Oktober 5005-5013
3.	Tracker System Single Axis Solar Concentrator In 2 W Sun Heat Power Plant	MAESTRO	Vol 6 No No 2 (2023): Vol.6 No. 2. Oktober 2023 303-312
4.	Rancang Bangun Sistem Pendekripsi Objek Halang Dan Penggereman Otomatis Pada Robot Forklift	MAESTRO	Vol 6 No No 2 (2023): Vol.6 No. 2. Oktober 2023 352-361

5.	Prediksi Iradiasi Matahari Menggunakan Algoritma Artificial Neural Network	MAESTRO	Vol 6 No No 2 (2023): Vol.6 No. 2. Oktober 2023 322-329
6.	Rancang Bangun Sistem Pengendali Suhu Dan Kelembapan Pada Gudang Penyimpanan Komponen Pesawat Terbang	MAESTRO	Vol 5 No 1 (2022): Jurnal Maestro Vol.5 No.1. April 2022 97 - 108
7.	Perancangan Mesin Cnc Plotter Dengan Aplikasi Grbl Kontrol Tiga Sumbu	MAESTRO	Vol 5 No 1 (2022): Jurnal Maestro Vol.5 No.1. April 2022 116 - 121
8.	Pemetaan Lingkungan Kerja Robot Beroda Dengan Metode Slam Gmapping Menggunakan Sensor Lidar	MAESTRO	Vol 5 No 2 (2022): Jurnal Maestro Vol.5 No.2. Oktober 2022 295 - 303
9.	PERANCANGAN SISTEM PENDETEKSIAN OBYEK BOLA DENGAN METODE FRAMEWORK YOLOv4	MAESTRO	Vol 5 No 2 (2022): Jurnal Maestro Vol.5 No.2. Oktober 2022 289 - 294
10.	Object Position Estimation based on Dual Sight Perspective Configuration	JURNAL INFOTEL	Vol 13 No 2 (2021): May 2021 94-103
11.	Rancang Bangun Timbangan Digital Dengan Fasilitas Klasifikasi Indeks Massa Tubuh Menggunakan Algoritma Logika Fuzzy	MAESTRO	Vol 4 No 2 (2021): Edisi Oktober 2021 231 - 239
12.	Perancangan Pembangkit Listrik Termoelektrik Pada Proses Refirgerasi Air Conditioner dengan Metode Fuzzy Logic	ELKOMIKA	Vol. 9 No. 1 2021
13.	Perancangan Sistem Kontrol Suhu Bedplate Dan Hotend Pada Printer 3d Model Reprap	MAESTRO	Vol 3 No 2 (2020): Edisi Oktober 2020 461 - 465
14.	Sistem Koordinasi Untuk Pengambilan Keputusan Pada Robot Sepakbola Beroda	MAESTRO	Vol 3 No 2 (2020): Edisi Oktober 2020 466 - 475
15.	Pemberdayaan Masyarakat Pada Pembuatan Blender Sampah Untuk Bahan Baku Biogas Di Perumahan Pondok Lakah Permai	Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat TEKNO (JAM-TEKNO)	Vol 1 No 2 (2020): Desember 2020 01 - 06
16.	Perancangan Sistem Manajemen Baterai Pada Mobil Listrik Studi	MAESTRO	Vol 3 No 1 (2020): Edisi April 2020 86-97

	Kasus: Baterai Kapasitas 46ah 12v Pada Neo Blits 2		
17.	Sistem Koordinasi Untuk Pengambilan Keputusan Pada Robot Sepakbola Beroda	MAESTRO	Vol. 3 No. 2, 466-475, 2020
18.	Perancangan Sistem Kontrol Suhu Bedplate Dan Hotend Pada Printer 3d Model Reprap	MAESTRO	Vol. 3 No. 2, 461-465, 2020

* Artikel ilmiah sebagai luaran dari kegiatan penelitian

E. Pemakalah Seminar Ilmiah (5 Tahun Terakhir)

No.	Nama Temu Ilmiah/Seminar	Judul Artikel Ilmiah*	Waktu dan Tempat
1.	15 th Industrial Research Workshop and National Seminar	Perancangan Sistem Akuisisi Data pada Reaktor Biogas Sampah Organik Skala Kecil	24-25 Juli 2024, Bandung, Indonesia
2.	IECON 2023- 49th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society	Stored Energy Forecasting of Small-Scale Photovoltaic-Pumped Hydro Storage System Based on Prediction of Solar Irradiance, Ambient Temperature, and Rainfall Using LSTM Method	16-19 Oktober 2023, Singapura
3.	International Electronics Symposium (IES) 2021	Combining Stand Alone PV Rooftop, Small Scale PHS, Rainfall Storage Systems for Increasing Electric Power Production based on Hybrid Pumping Technique	29-30 September 2021, Surabaya, Indonesia

* Artikel ilmiah sebagai luaran dari kegiatan penelitian

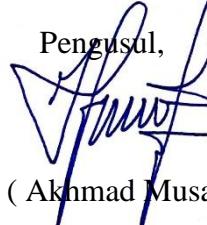
F. Perolehan HKI (5 Tahun Terakhir)

No.	Judul/Tema HKI*	Tahun	Jenis	Nomor P/ID
1.	Pemberdayaan Masyarakat Pada Pembuatan Blender Sampah Untuk Bahan Baku Biogas Di Perumahan Pondok Lakah Permai	2023	Karya Ilmiah	EC00202386171/000612653
2.	Education About Basic Electricity In Residential Homes And Solutions To Electrical Problems For The Residents Of Pondok Lakah Permai	2023	Karya Ilmiah	EC00202385320/000518273
3.	Program Komputer Sistem Informasi Multi Bank Sampah Pada Aplikasi Banksampahpedia	2023	Program Komputer	EC002023123060 / 000556015
4.	Program Pendampingan Perancangan Biogas Sampah Organik Rumah	2020	Karya Ilmiah	000179526

	Tangga Sebagai Sumber Energi Alternatif			
--	--	--	--	--

* HKI sebagai luaran dari kegiatan penelitian

Jakarta, 6 Februari 2025

Pengusul,

(Akhmad Musafa)

Lampiran 3. Surat Perjanjian Kontrak Penelitian

Ada di halaman berikutnya.



SURAT PERJANJIAN KONTRAK PENELITIAN

Nomor A/UBL/DRPM/000/116/11/24

Pada hari ini, Jumat 22 November 2024 Semester Gasal Tahun Ajaran 2024/2025, kami yang bertandatangan di bawah ini:

1. **Dr. Ir. Prudensius Maring, M.A.**, selaku Direktur Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Budi Luhur, selanjutnya disebut PIHAK PERTAMA.
2. **Dr. Sujono, S.T., M.T**, selaku Peneliti selanjutnya disebut PIHAK KEDUA.

Kedua belah pihak menyatakan bersepakat untuk membuat perjanjian kontrak penelitian sebagai berikut:

Pasal 1 Judul Penelitian

PIHAK PERTAMA dalam jabatannya tersebut di atas, memberikan tugas kepada PIHAK KEDUA untuk melaksanakan penelitian yang berjudul: Optimisasi Pelepasan Beban Menggunakan Hibrid Grey Wolf-Whale Optimization Algorithm Untuk Memaksimalkan Keberlanjutan Pasokan Daya Pada Jaringan Distribusi Terisolasi

Pasal 2 Personalia Penelitian

Peneliti Utama : Dr. Sujono, S.T., M.T
Anggota Peneliti : Ahmad Musafa, S.T., M.T

Pasal 3 Waktu dan Biaya Penelitian

1. Waktu penelitian adalah 6 bulan, terhitung sejak tanggal 19 Agustus 2024 sampai dengan 19 Februari 2025.
2. Biaya pelaksanaan penelitian ini dibebankan pada Yayasan Pendidikan Budi Luhur Cakti Tahun 2024 dengan nilai kontrak sebesar Rp 12,500,000.00 (dua belas juta lima ratus ribu rupiah)

Pasal 4 Cara Pembayaran

Pembayaran biaya penelitian diberikan secara bertahap, sebagai berikut:

1. Tahap pertama sebesar 50% dari nilai kontrak, setelah surat perjanjian kontrak penelitian ini ditandatangani oleh kedua belah pihak.
2. Tahap kedua sebesar 50% dari nilai kontrak, setelah PIHAK KEDUA menyerahkan Laporan Hasil Penelitian kepada PIHAK PERTAMA.

Pasal 5 Keaslian Penelitian dan Ketidakterikatan dengan Pihak Lain

1. PIHAK KEDUA bertanggungjawab atas keaslian judul penelitian sebagaimana disebutkan dalam Pasal 1 Surat Perjanjian Kontrak Penelitian ini (bukan duplikat/jiplakan/plagiat) dari penelitian orang lain.
2. PIHAK KEDUA menjamin bahwa judul penelitian tersebut bebas dari ikatan dengan pihak lain atau tidak sedang didanai oleh pihak lain.



3. PIHAK KEDUA menjamin bahwa judul penelitian tersebut bukan merupakan penelitian yang SEDANG ATAU SUDAH selesai dikerjakan, baik didanai oleh pihak lain maupun oleh sendiri.
4. PIHAK PERTAMA tidak bertanggungjawab terhadap tindakan plagiat yang dilakukan oleh PIHAK KEDUA.
5. Apabila dikemudian hari diketahui ketidakbenaran pernyataan ini, maka kontrak penelitian DINYATAKAN BATAL, dan PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana yang telah diterima kepada Yayasan Pendidikan Budi Luhur Cakti sebagai pemberi dana.

Pasal 6 Monitoring Penelitian

1. PIHAK PERTAMA berhak untuk:
 - a. Melakukan pengawasan administrasi, monitoring, dan evaluasi terhadap pelaksanaan penelitian.
 - b. Memberikan sanksi jika dalam pelaksanaan penelitian terjadi pelanggaran terhadap isi perjanjian oleh peneliti.
 - c. Bentuk sanksi disesuaikan dengan tingkat pelanggaran yang dilakukan.
2. Pemantauan kemajuan penelitian dikoordinasikan oleh PIHAK PERTAMA.
3. Pelaksanaan kemajuan penelitian dilaksanakan pada tanggal 03 Januari 2025.
4. Format Laporan Kemajuan dan teknis pelaksanaannya diatur oleh PIHAK PERTAMA.

Pasal 7 Laporan Akhir Penelitian

PIHAK KEDUA wajib menyerahkan laporan akhir dalam bentuk softcopy, paling lambat tanggal 14 Februari 2025.

Pasal 8 Sanksi

Segala kelalaian baik disengaja maupun tidak, sehingga menyebabkan keterlambatan menyerahkan laporan hasil penelitian dengan batas waktu yang telah ditentukan akan mendapatkan sanksi sebagai berikut:

1. Tidak diperbolehkan mengajukan usulan penelitian pada semester berikutnya bagi ketua dan anggota peneliti.
2. PIHAK KEDUA diberikan kesempatan perpanjangan waktu penelitian selama 2 (dua) minggu sampai dengan tanggal 28 Februari 2025.
3. Jika setelah masa perpanjangan tersebut PIHAK KEDUA tidak dapat menyelesaikan penelitiannya, PIHAK KEDUA diwajibkan mengembalikan dana yang sudah diterima kepada Yayasan Pendidikan Budi Luhur Cakti dengan cara mengembalikan tunai kepada PIHAK PERTAMA.



Pasal 9 Penutup

Perjanjian ini berlaku sejak ditandatangani dan disetujui oleh PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA.

PIHAK PERTAMA

Dr. Ir. Prudensius Maring, M.A.
NIP. 190043

Jakarta, 22 November 2024

PIHAK KEDUA

Dr. Sujono, S.T., M.T
NIP. 990002

Lampiran 4. Catatan Harian

No	Tanggal	Kegiatan
1.	01/11/2024	Catatan : Koordinasi dan diskusi pelaksanaan kegiatan penelitian
2.	15/11/2024	Catatan : Studi pemodelan sistem pelepasan beban
3.	29/11/2024	Catatan : Simulasi awal model sistem pelepasan beban
4.	13/12/2024	Diskusi hasil simulasi model sistem pelepasan beban
5.	20/12/2024	Perbaikan program simulasi model sistem pelepasan beban
6.	10/01/2025	Diskusi hasil perbaikan program simulasi model sistem pelepasan beban dan persiapan perancangan algoritma optimisasi
7.	27/01/2025	Perancangan algoritma optimisasi dan simulasinya
8.	24/01/2025	Diskusi hasil simulasi algoritma optimisasi
9.	31/01/2025	Analisa data dan diskusi draft paper luaran penelitian
10.	05/02/2025	Diskusi finalisasi laporan penelitian

OPTIMISASI PELEPASAN BEBAN MENGGUNAKAN ALGORITMA HIBRID *GREY WOLF-WHALE OPTIMIZATION ALGORITHM* UNTUK MENINGKATKAN KINERJA OPERASIONAL JARINGAN DISTRIBUSI TERISOLASI

Sujono^{1,2}, Akhmad Musafa¹

¹ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Budi Luhur

² Pusat Studi Kendaraan Listrik, Universitas Budi Luhur

email: sujono@budiluhur.ac.id

Abstrak

Pada jaringan distribusi yang terintegrasi dengan *distributed generation* (DG), pemutusan hubungan dari jaringan utama menyebabkan penurunan pasokan daya yang signifikan dan membentuk jaringan terisolasi yang hanya mengandalkan pembangkitan DG. Ketidakseimbangan daya terjadi antara pembangkitan DG dan beban berdampak pada menurunya stabilitas tegangan dan frekuensi. Makalah ini mengusulkan algoritma hybrid paralel Grey Wolf – Whale Optimizaton Algorithm (GW-WOA) untuk optimasi pelepasan beban. Optimasi ini bertujuan untuk mengurangi daya DG yang tidak terserap oleh beban yang tersisa di jaringan dan menjaga tegangan bus beban dalam batas yang ditentukan. Performa GW-WOA diuji dengan optimasi load shedding pada sistem distribusi radial IEEE 118 bus yang diintegrasikan dengan 12 unit DG dengan mempertimbangkan berbagai level pembebahan yang terdiri dari 80%, 100%, dan 140% dari beban dasar. Pada tingkat pembebahan keseluruhan tingkat pembebahan, algoritma hibrid GW-WOA lebih unggul dibandingkan dengan algoritma standar GWO dan WOA dengan jumlah beban yang dilepaskan dari jaringan mencapai nilai terkecil. Algoritma hibrid GW-WOA mampu lebih cepat konvergen untuk mendapatkan nilai optimal yang global untuk mewujudkan kesetimbangan daya dalam jaringan dan mengatasi defisit daya dalam jaringan. Hibridasi algoritma GW-WOA telah mampu meningkatkan kinerja optimisasi pelepasan beban pada jaringan distribusi yang terisolasi dengan hasil optimal yang bersifat global dan iterasi yang lebih singkat.

Kata kunci: load shedding; jaringan terisolasi; distribusi; grey wolf; whale optimization algorithm

1. PENDAHULUAN

Pembangkitan terdistribusi (DG) adalah sistem pembangkit daya berkapasitas rendah yang diintegrasikan pada jaringan distribusi dekat dengan pusat beban. DG pada umumnya bersumber dari energi terbarukan dengan kapasitas daya kecil dan secara geografis memiliki lokasi yang tersebar. Penerapan DG pada sistem tenaga listrik modern saat ini terus meningkat dikarenakan bersumber dari energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berbagai kelebihan yang dimilikinya. Interasi DG dapat mereduksi rugi daya dan memperbaiki profile tegangan bus dalam jaringan distribusi.

Dengan integrasi DG membuka peluang pada jaringan distribusi untuk beroperasi dalam dua mode. Mode pertama adalah terhubung ke jaringan utama. Pada mode terhubung dengan jaringan, jaringan distribusi memenuhi permintaan daya beban dengan memanfaatkan daya dari jaringan utama dan pembangkitan DG melalui pengaturan yang tepat agar bisa menghasilkan kondisi aliran daya yang optimal. Pengaturan daya dari jaringan utama dan pembangkitan DG akan sangat berpengaruh pada rugi

daya, profil tegangan bus, dan tingkat pembebahan saluran distribusi.

Mode kedua adalah terisolasi. Mode ini dapat terjadi ketika sambungan jaringan distribusi dengan jaringan utama sengaja diputus karena pemeliharaan jaringan atau terpaksa diputus karena adanya gangguan pada jaringan. Pada mode isolated, jaringan distribusi harus memasok daya ke beban dengan mengandalkan pembangkitan daya dari DG. Kapasitas pembangkitan DG yang jauh dibawah daya beban menyebabkan ketidak seimbangan daya. Kondisi ini akan sangat menurunkan kestabilan tegangan dan frekuensi pada jaringan yang jika dibiarkan akan bisa menyebabkan pemadaman dan terhentinya pasokan daya ke beban secara keseluruhan.

Strategi operasional pada jaringan distribusi yang terisolasi dapat dilakukan dengan beberapa cara. Yang pertama adalah rekonfigurasi jaringan dengan memanfaatkan sectional tie switch yang memodifikasi topologi jaringan. Dengan cara ini, pembebahan jalur distribusi dapat diatur ulang. Yang kedua adalah membagi menjadi beberapa picogrid independen berdasarkan keberadaan DG. DG bertindak sebagai

sumber daya untuk beban di setiap picogrid. Namun, dalam beberapa kasus, jaringan distribusi yang terisolasi menyebabkan perbedaan yang sangat besar antara pembangkitan DG dan beban. Strategi rekonfigurasi jaringan dan membagi jaringan menjadi picogrid tidak dapat menyelesaikan masalah defisit daya dalam jaringan.

Kesetimbangan daya dalam jaringan terintegrasi distribusi DG yang terisolasi bisa diwujudkan dengan melepaskan sebagian beban yang terhubung pada tiap-tiap bus. Dalam proses pelepasan beban, harus diperhatikan keberadaan beban prioritas yang tidak bisa mentolerir ketiadaan pasokan daya listrik. Selain hal tersebut, komposisi beban tersisa pada tiap bus setelah pelepasan beban akan sangat menentukan kesetimbangan daya dan aliran daya dalam jaringan, rugi daya, profile tegangan bus, dan tingkat pembebahan saluran dalam jaringan distribusi. Untuk itu diperlukan strategi pelepasan beban yang tepat dan optimal.

Berbagai kajian tentang strategi pelepasan beban pada jaringan terisolasi telah dilakukan. Pendekatan analitis untuk merencanakan batas cakupan beban yang optimal pada sistem yang terisolasi dipelajari dalam [1] dan [2] dengan mempertimbangkan kendala topologi jaringan dan ketersediaan kapasitas DG. Rencana pelepasan beban yang optimal untuk menjaga keseimbangan daya pada jaringan yang terisolasi dengan menerapkan algoritma Firefly-PSO (FAPSO) dibahas dalam [3], dan Backtracking Search Algorithm (BSA) dipelajari dalam [4]. Strategi pelepasan beban terdistribusi berdasarkan analisis jaringan untuk pencegahan keruntuhan tegangan disajikan dalam [5].

Algoritma GWO dan WOA umum digunakan dalam optimisasi. Kedua algoritma tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. WOA memiliki kesederhanaan dalam model matematis sehingga mudah diterapkan dan kebutuhan memori yang rendah. WOA juga memiliki pencarian global yang cepat, namun tidak demikian untuk pencarian lokal. Karakteristik tersebut menyebabkan WOA konvergen lambat. GWO memiliki model matematis sedikit lebih kompleks dibandingkan WOA. Pada pencarian lokal, pemilihan 3 solusi terbaik untuk digunakan dalam update solusi pada tiap iterasi mampu mempercepat konvergensi dari GWO. Dengan hibridasi kedua algoritma tersebut akan menghasilkan algoritma yang lebih cepat konvergen dan mampu memberikan solusi yang optimal global.

Paper ini mengusulkan algoritma hibrid paralel Grey Wolf – Whale Optimization Algorithm (GW-WOA) pada optimisasi pelepasan beban. Optimasi bertujuan untuk memaksimalkan beban yang dipertahankan dalam jaringan dan mempertahankan tegangan di semua bus beban tetap dalam nilai yang diijinkan. Algoritma yang diusulkan adalah dengan melakukan hibridasi secara paralel untuk mendapatkan solusi terbaik diantara GWO dan WOA pada tiap iterasi yang akan digunakan pada

iterasi berikutnya sehingga konvergen lebih cepat dan mendapatkan solusi optimal secara global.

Kontribusi paper ini antara lain adalah sebagai berikut:

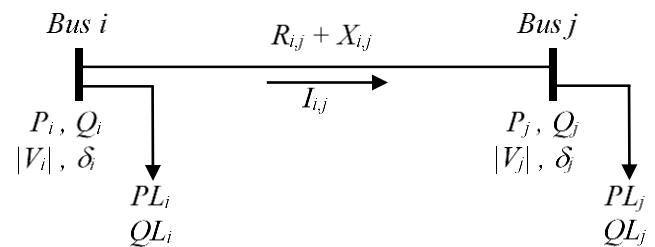
- Usulan algoritma hibrid paralel GW-WOA untuk meningkatkan kinerja optimisasi pelepasan beban yang konvergen lebih cepat dan menghasilkan solusi optimal global.
- Optimisasi strategi pelepasan beban pada jaringan distribusi terintegrasi DG yang terisolasi untuk memaksimalkan beban tersisa dalam jaringan.
- Optimisasi pelepasan beban dengan mempertimbangkan beban prioritas dan tingkat pembebahan jaringan.
- Strategi pelepasan beban untuk memaksimalkan pemanfaatan pembangkitan DG dalam mempertahankan keberlanjutan pasokan daya ke beban.
- Komposisi yang optimal dari beban yang dipertahankan setelah pelepasan beban sehingga rugi daya dalam jaringan mencapai minimal.

2. METODE

Strategi pelepasan beban dilakukan dengan tujuan untuk mewujudkan kesetimbangan daya antara kemampuan pembangkitan dengan permintaan beban. Pelepasan beban harus dilakukan dengan tepat sehingga didapatkan kesetimbangan daya dengan komposisi optimal dari beban tersisa pada jaringan. Komposisi optimal tersebut sangat menentukan aliran daya dalam jaringan untuk meminimalkan rugi daya dan deviasi tegangan bus dalam jaringan. Terdapat parameter-parameter penting yang digunakan dalam melakukan optimisasi pelepasan beban diantaranya akan dibahas dalam sub-bab selanjutnya.

2.1. Rugi Daya Saluran Distribusi

Pada gambar 1 ditunjukkan sebagian dari saluran distribusi yang menghubungkan bus-*i* dan bus-*j*. Aliran daya yang sebanding dengan arus saluran ($I_{i,j}$) terjadi dari bus-*i* ke bus-*j* melalui saluran dengan impedansi $R_{i,j} + X_{i,j}$. Daya aktif dan reaktif pada kedua bus masing-masing adalah P_i, Q_i, P_j , dan Q_j . Daya aktif dan reaktif beban terhubung pada kedua bus masing-masing adalah PL_i, QL_i, PL_j , dan QL_j .



Gambar 1, Jaringan Dua Bus

Besarnya rugi daya aktif dan reaktif pada saluran penghubung bus-*i* dan bus-*j* dapat dinyatakan dalam persamaan (1) dan (2) berikut ini:

$$P_{loss-i,j} = R_{i,j} \cdot |I_{i,j}|^2 \quad (1)$$

$$Q_{loss-i,j} = X_{i,j} \cdot |I_{i,j}|^2 \quad (2)$$

Total rugi daya dalam jaringan distribusi adalah akumulasi rugi daya tiap saluran yang secara matematis dinyatakan dalam persamaan (3) dan (4).

$$P_{loss-total} = \sum_{k=1}^{NL} R_k \cdot |I_k|^2 \quad (3)$$

$$Q_{loss-total} = \sum_{k=1}^{NL} X_k \cdot |I_k|^2 \quad (4)$$

dimana, NL adalah jumlah saluran dalam jaringan distribusi, *k* adalah nomor saluran, *R_k* dan *X_k* masing-masing adalah resistansi dan reaktansi pada saluran ke-*k*, dan *I_k* adalah arus yang mengalir pada saluran *k*.

2.2. Deviasi Tegangan Bus

Panjangnya saluran antara suatu bus beban dengan bus pembangkit menyebabkan penurunan tegangan yang sebanding dengan impedansi total saluran. Penurunan tegangan ini menyebabkan terjadinya deviasi tegangan, yaitu perbedaan antara tegangan bus pembangkit sebagai sumber dan tegangan bus beban. Indeks deviasi tegangan (TDV) suatu jaringan distribusi didefinisikan sebagai akumulasi terhadap kuadrat dari nilai mutlak deviasi tegangan untuk keseluruhan bus yang terdapat pada jaringan distribusi. Secara matematis, nilai TDV dapat dinyatakan seperti pada persamaan (5).

$$TDV = \sum_{i=2}^{NB} |V_s - V_i|^2 \quad (5)$$

dimana, *NB* adalah jumlah bus dalam jaringan, *V_s* dan *V_i* masing-masing adalah tegangan sumber dan aktual pada bus-*i*.

2.3. Beban Tersisa Dalam Jaringan

Hubungan antara total beban pada jaringan sebelum dan sesudah pelepasan beban dengan total beban yang dilepaskan dari jaringan dinyatakan secara matematis sebagai persamaan (6) berikut ini.

$$P_{remain} = P_{load-total} - P_{shed} \quad (6)$$

dimana, *P_{load-total}* adalah total beban dalam jaringan sebelum proses pelepasan beban, *P_{shed}* adalah beban yang dilepaskan dari jaringan saat proses pelepasan beban, dan *P_{remain}* adalah total beban yang tetap dipertahankan dalam jaringan setelah proses pelepasan beban.

2.4. Formulasi Fungsi Obyektif Optimisasi

Optimisasi pelepasan beban bertujuan untuk memaksimalkan jumlah beban yang bisa tetap dipertahankan setelah proses pelepasan beban yang dinyatakan dalam persamaan (7).

$$f_{obj} = \max(P_{remain}) \quad (7)$$

P_{remain} tidak boleh melebihi kapasitas pembangkitan DG sebagai sumber daya saat jaringan terisolasi agar kesetimbangan daya bisa dipertahankan. Selisih antara total kapasitas pembangkitan DG (*P_{DG}*) dengan *P_{remain}* akan dijadikan sebagai cadangan daya (*P_{reserve}*) yang dinyatakan dalam persamaan (8).

$$P_{reserve} = P_{DG} - P_{remain} \quad (8)$$

Dengan demikian fungsi obyektif untuk memaksimalkan *P_{remain}* pada persamaan (7) dapat dinyatakan sebagai (9) yaitu meminimalkan *P_{reserve}*.

$$f_{obj} = \min(P_{reserve}) \quad (9)$$

2.5. Kendala Optimisasi

Kendala keseimbangan dan ketidak-seimbangan yang harus dipenuhi dalam optimisasi pelepasan beban antara lain adalah sebagai berikut:

- *Kesetimbangan daya dalam jaringan*

Kesetimbangan daya antara total daya pembangkitan DG dengan total dari daya beban tersisa dan rugi daya dalam jaringan setelah proses pelepasan beban sebagaimana dinyatakan dalam persamaan (10) dan (11).

$$\sum_{i=1}^{N_DG} P_{DG,i} = \sum_{j=1}^{N_b} P_{remain,j} + P_{loss-after LS} \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^{N_DG} Q_{DG,i} = \sum_{j=1}^{N_b} Q_{remain,j} + Q_{loss-after LS} \quad (11)$$

dimana, *P_{DG,i}* dan *Q_{DG,i}* masing-masing adalah pembangkitan daya aktif dan reaktif oleh DG-*i*, *N_{DG}* adalah jumlah DG pada jaringan, *P_{remain,j}* dan *Q_{remain,j}* adalah daya aktif dan reaktif beban tersisa pada bus-*j*, *P_{loss-after LS}* dan *Q_{loss-after LS}* masing-masing adalah total rugi daya aktif dan reaktif pada jaringan setelah dilakukan pelepasan beban.

- *Magnitudo tegangan bus yang diijinkan*

Magnitudo tegangan keseluruhan bus dalam jaringan setelah load shedding harus berada dalam batasan yang diijinkan.

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{max}, i = 1, 2, 3, \dots, N_b \quad (12)$$

dimana, *V_i* adalah magnitudo tegangan pada bus-*i*, *V_{min}* adalah batas minimal magnitudo tegangan (0.95 p.u), dan *V_{max}* adalah batas maksimal magnitudo tegangan (1.05 p.u).

- *Minimal daya beban tersisa pada jaringan*

Daya beban tersisa adalah sama dengan atau lebih besar dari beban prioritas untuk tiap bus dalam jaringan.

$$P_{priority,i} \leq P_{remain,i} \quad (13)$$

$$Q_{priority,i} \leq Q_{remain,i} \quad (14)$$

$P_{priority,i}$ dan $Q_{priority,i}$ masing-masing adalah daya aktif dan reaktif dari beban prioritas pada bus-i, $P_{remain,i}$ dan $Q_{remain,i}$ masing-masing adalah daya aktif dan reaktif dari beban tersisa pada bus-i setelah pelepasan beban.

- Pembangkitan DG

Pembangkitan DG diatur pada batas maksimum untuk memaksimalkan pemanfaatan DG dalam menjaga kontinuitas pasokan daya ke beban.

$$P_{DG} = P_{DG}^{max} \quad (15)$$

P_{DG} adalah pembangkitan DG dan P_{DG}^{max} adalah batas maksimum pembangkitan DG.

2.6. Grey Wolf Optimizer (GWO)

Algoritma GWO terinspirasi pada hierarki kepemimpinan dan cara berburu sekawanan serigala abu-abu. Alpha (α) dianggap sebagai serigala paling dominan, disusul oleh Beta (β) dan Delta (δ). Omega (ω) dianggap sebagai individu yang paling rendah dominasinya dan hanya diperbolehkan makan di saat-saat terakhir.

Dalam mencari mangsa, serigala mengepung mangsanya yang dapat dimodelkan secara matematis dalam persamaan (16) dan (17).

$$D = |C \cdot X_p(t) - X(t)| \quad (16)$$

$$X(t+1) = X_p(t) - A \cdot D \quad (17)$$

dimana t mengindikasikan iterasi sekarang, A dan C adalah vektor koefisien, X_p vektor posisi mangsa, dan X vektor posisi dari serigala abu-abu. Vektor A dan C dihitung dengan persamaan (18) dan (19) berikut ini.

$$A = 2 \cdot a \cdot r_1 - a \quad (18)$$

$$C = 2 \cdot r_2 \quad (19)$$

dimana r_1, r_2 adalah nilai random dalam $[0,1]$, dan nilai a ditentukan dengan persamaan (20).

$$a = 2 \left(1 - \frac{t}{t_{max}} \right) \quad (20)$$

dimana t_{max} adalah maksimum iterasi.

Fase selanjutnya adalah perburuan yang dipandu oleh alfa. Alfa, beta, dan delta adalah tiga individu dengan fitnes terbaik. Individu lainnya menyesuaikan posisinya berdasarkan posisi dari ketiga individu terbaik dengan persamaan (21), (22), dan (23).

$$D_\alpha = |C_1 \cdot X_\alpha(t) - X| \quad (21)$$

$$D_\beta = |C_2 \cdot X_\beta(t) - X| \quad (22)$$

$$D_\delta = |C_3 \cdot X_\delta(t) - X| \quad (23)$$

Penyesuaian posisi individu terhadap posisi alfa, beta, dan delta menggunakan persamaan (24), (25), dan (26).

$$X_1 = X_\alpha - A_1 \cdot D_\alpha \quad (24)$$

$$X_2 = X_\beta - A_2 \cdot D_\beta \quad (25)$$

$$X_3 = X_\delta - A_3 \cdot D_\delta \quad (26)$$

Posisi akhir posisi suatu individu pada iterasi $t+1$ ditentukan dengan persamaan (27).

$$X(t+1) = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3} \quad (27)$$

Proses perhitungan dilakukan berulang sampai iterasi maksimum atau kriteria penghentian telah dicapai.

2.7. Whale Optimization Algorithm

Whale optimization algorithm (WOA) adalah algoritma meta-heuristik yang terinspirasi dari strategi berburu mangsa dari paus bungkuk dengan metode jaring gelembung untuk pemberian makan. Paus bungkuk menyelam sekitar 12 meter ke bawah dan kemudian mulai membuat gelembung dalam bentuk spiral di sekitar mangsanya dan berenang ke atas. Paus bungkuk dapat mengenali lokasi mangsa dan mengepungnya.

Algoritma WOA mengasumsikan bahwa agen sebagai kandidat solusi terbaik saat ini adalah mangsa yang dituju, dan agen pencari akan memperbarui posisi mereka menuju agen terbaik mengikuti persamaan (28) dan (29) berikut ini:

$$D = |C \cdot X^*(t) - X(t)| \quad (28)$$

$$X(t+1) = X^*(t) - A \cdot D \quad (29)$$

dimana t adalah iterasi saat ini, X^* adalah vektor posisi solusi terbaik yang telah didapatkan sejauh iterasi yang terjadi, X adalah vektor posisi, A dan C adalah vektor koefisien yang dihitung dengan persamaan (30) dan (31).

$$A = 2 \cdot a \cdot r - a \quad (30)$$

$$C = 2 \cdot r \quad (31)$$

dimana nilai a adalah berkurang secara linear dari 2 ke 0 seiring dengan iterasi sesuai persamaan (32) dan r adalah vektor random dalam $[0,1]$.

$$a = 2 \left(1 - \frac{t}{t_{max}} \right) \quad (32)$$

Paus bungkuk mengitari mangsanya mengikuti jalur lingkaran yang mengecil dan spiral dengan probabilitas 50%, yang secara matematis sebagai persamaan (33).

$$X(t+1) = \begin{cases} X(t) - A \cdot D & \text{if } p < 0.5 \\ D' \cdot e^{bL} \cdot \cos(2\pi l) + X^*(t) & \text{if } p \geq 0.5 \end{cases} \quad (33)$$

dimana p adalah bilangan random dalam rentang $[0,1]$, b adalah konstanta untuk bentuk spiral logaritmik, L adalah angka acak dalam $[-1,1]$.

Selain metode jaring gelembung, paus bungkuk juga melakukan eksplorasi untuk mencari mangsa secara acak. Pada fase ini, posisi agen-agen diperbarui berdasarkan

agen pencari yang dipilih secara acak dengan model matematis sebagai berikut:

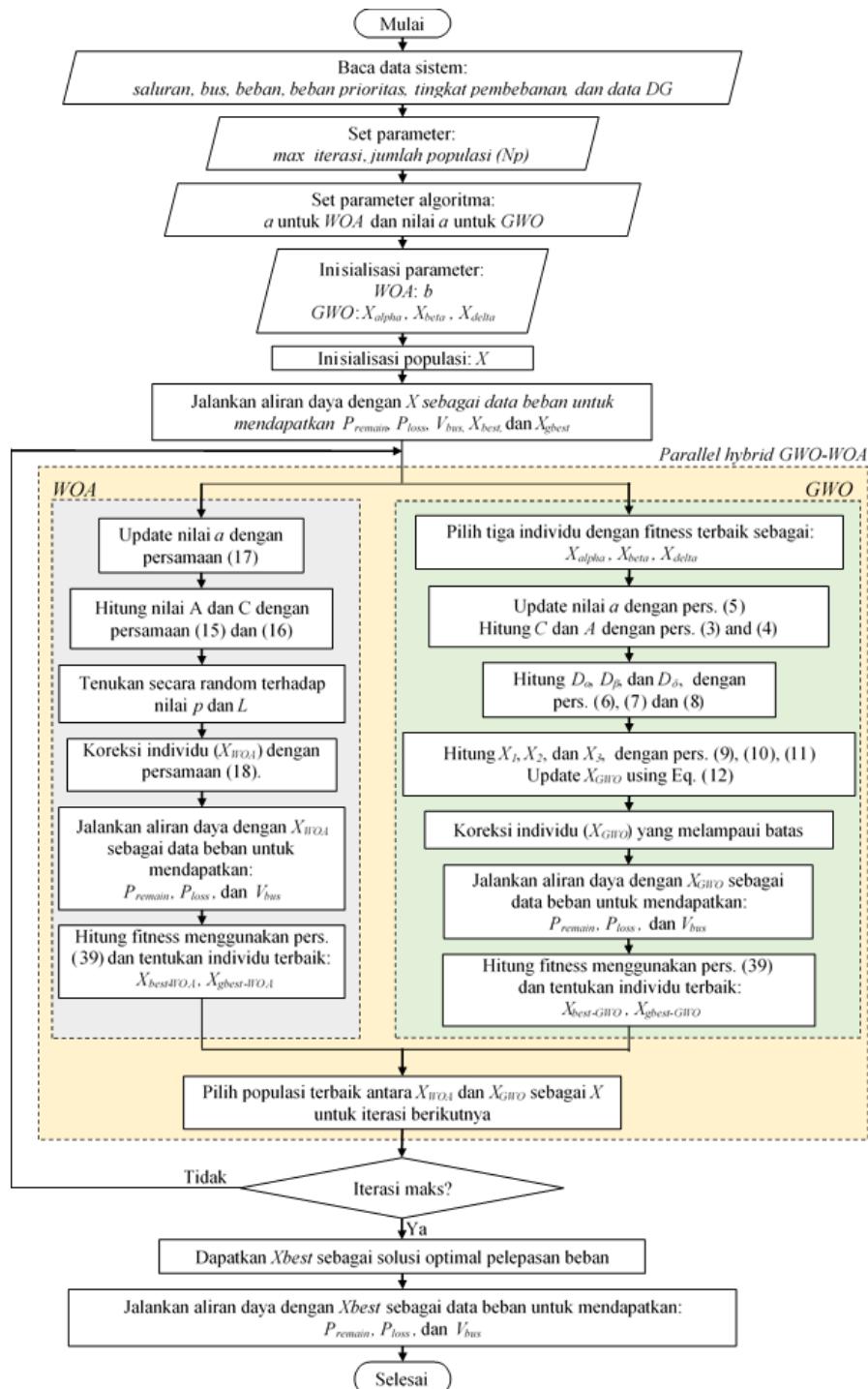
$$D = |C \cdot X_{rand} - X| \quad (34)$$

$$X(t+1) = X_{rand} - A \cdot D \quad (35)$$

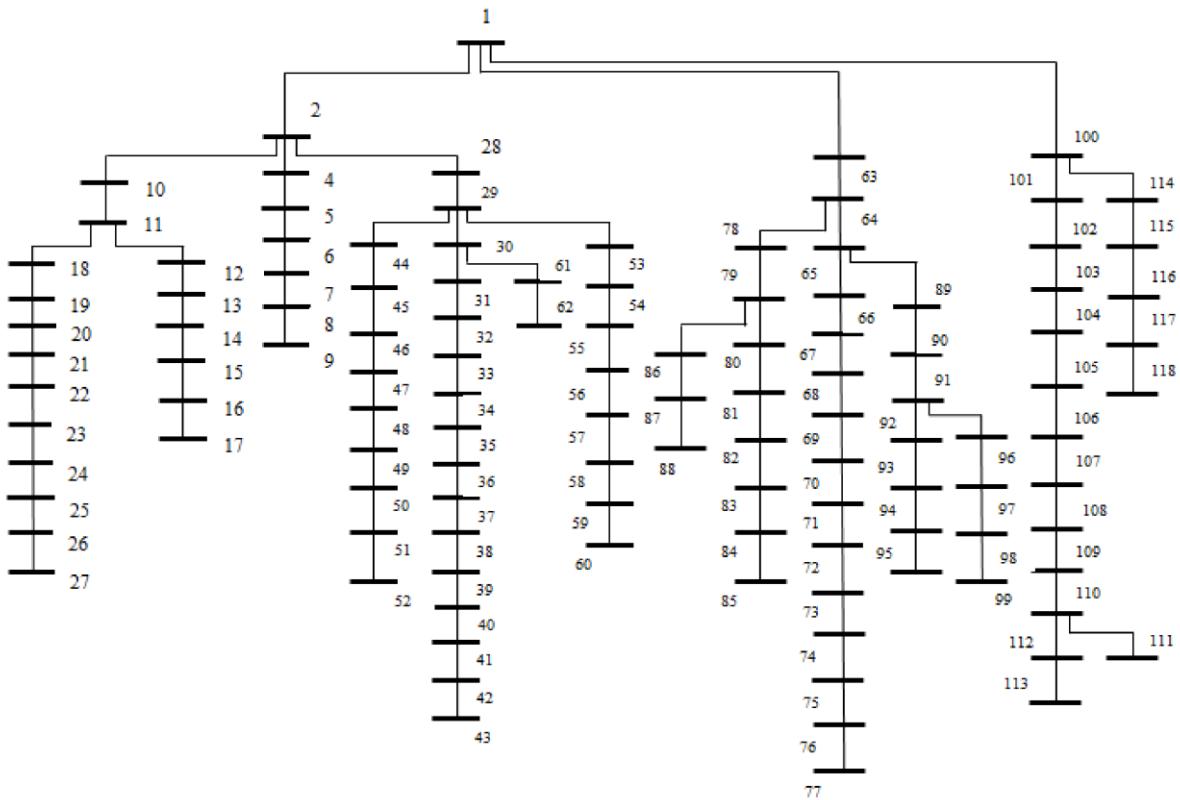
dimana X_{rand} adalah vektor posisi random (a random whale) dipilih dari posisi sekarang.

3. PROSEDUR OPTIMISASI LOAD SHEDDING MENGGUNAKAN ALGORITMA HIBRID GW-WOA

Algoritma GW-WOA adalah hibrid paralel dari algoritma GWO dan WOA. Pada tiap iterasi, kedua algoritma diterapkan secara simultan. Hasil update posisi dan fitnes terbaik dari kedua algoritma pada setiap iterasi dipilih dan digunakan sebagai dasar perhitungan pada iterasi berikutnya. Gambar 2 menjelaskan diagram alir dari optimisasi pelepasan beban dengan algoritma GW-WOA.



Gambar 2 Diagram alir optimisasi pelepasan beban menggunakan GW-WOA



Gambar 3. Diagram jaringan distribusi radial IEEE 118-bus

Tabel 1. Lokasi, tipe, kapasitas daya, dan faktor daya DG

<i>DG</i>	Bus <i>DG</i>	Tipe <i>DG</i>	<i>P</i> _{out-max} (MW)	<i>pf</i>
1	77	PQ- <i>DG</i>	500	0.8
2	76	PQ- <i>DG</i>	700	0.8
3	75	PQ- <i>DG</i>	700	0.8
4	74	PQ- <i>DG</i>	300	0.8
5	73	PQ- <i>DG</i>	500	0.8
6	43	PQ- <i>DG</i>	500	0.8
7	27	PQ- <i>DG</i>	300	0.8
8	42	PQ- <i>DG</i>	500	0.8
9	52	PQ- <i>DG</i>	700	0.8
10	72	PQ- <i>DG</i>	500	0.8
11	26	PQ- <i>DG</i>	300	0.8
12	51	PQ- <i>DG</i>	500	0.8

4. SISTEM UJI OPTIMIASASI PELEPASAN BEBAN

Sistem uji yang digunakan adalah jaringan distribusi radial IEEE 118 bus yang terintegrasi dengan 12 unit pembangkit terdistribusi (*distributed generation* atau *DG*) dengan diagram sistem sebagaimana ditunjukkan

pada gambar 3[16]. Jumlah bus dan saluran pada sistem uji masing-masing adalah 118 dan 117. Total daya beban dasar yang digunakan adalah 22,709.72 kW dan 17,041.068 kVAR.

5. HASIL DAN ANALISA

Simulasi pelepasan beban mencakup 3 studi kasus untuk tingkat pembebanan yang terdiri dari 80%, 100%, dan 140% dari beban dasar. Optimisasi pelepasan beban dilakukan dengan menerapkan algoritma hibrid GW-WOA dan dibandingkan dengan algoritma GWO dan WOA standar. Kinerja algoritma GW-WOA diukur berdasarkan hasil optimisasi pelepasan beban yang meliputi fitness dari objektif yang diinginkan, kecepatan konvergensi, rugi-rugi daya pada jaringan, dan profil tegangan bus setelah dilakukan pelepasan beban.

5.1. Studi Kasus-1 : Optimisasi Pelepasan Beban Pada Tingkat Pembebanan 80% dari Beban Dasar

Ketika jaringan distribusi dibebani pada 80% dari beban dasar, total daya aktif dan reaktif dari beban dalam jaringan masing-masing adalah 18,167.20 kW dan 13,632.70 kVAR. Total pembangkitan daya maksimum dari 12 unit DG adalah 6,000 kW dengan faktor daya 0,8. Pada saat jaringan distribusi terisolasi, pemenuhan permintaan daya dilakukan dengan mengandalkan pembangkitan daya dari DG. Kondisi tersebut

menyebabkan terjadinya defisit daya pembangkitan dan beban sebesar 12,167.20 kW. Pelepasan beban secara parsial diperlukan untuk mendapatkan keseimbangan daya antara pembangkitan DG dengan daya beban.

Ringkasan hasil optimisasi yang terdiri dari total daya beban 80% dari beban dasar (P_{load}), total pelepasan beban (P_{shed}), total daya beban yang tersisa di jaringan (P_{remain}), dan rugi-rugi daya pada jaringan (P_{loss}) setelah pelepasan beban yang dioptimisasi dengan algoritma *GW-WOA* yang diusulkan, standar *GWO*, dan standar *WOA* sebagai pembanding ditunjukkan pada tabel 2. Pengamatan dilakukan untuk iterasi perhitungan sebanyak 500 kali.

Dari tabel 2 dapat diamati bahwa dalam 500 iterasi algoritma *GWO* belum mampu memberikan hasil optimal dalam pelepasan beban. Hal ini ditunjukkan oleh nilai $P_{remain} = 6,545.30$ kW yang masih melebihi kapasitas pembangkitan maksimal yang bisa dihasilkan oleh DG yaitu $P_{remain DG} = 6,000$ kW. Kondisi ini menunjukkan belum tercapainya keseimbangan daya beban dan daya pembangkitan DG. Terlebih lagi jika diperhitungkan nilai rugi dalam jaringan sebesar $P_{loss} = 468.30$ kW akan memperbesar defisit daya dalam jaringan.

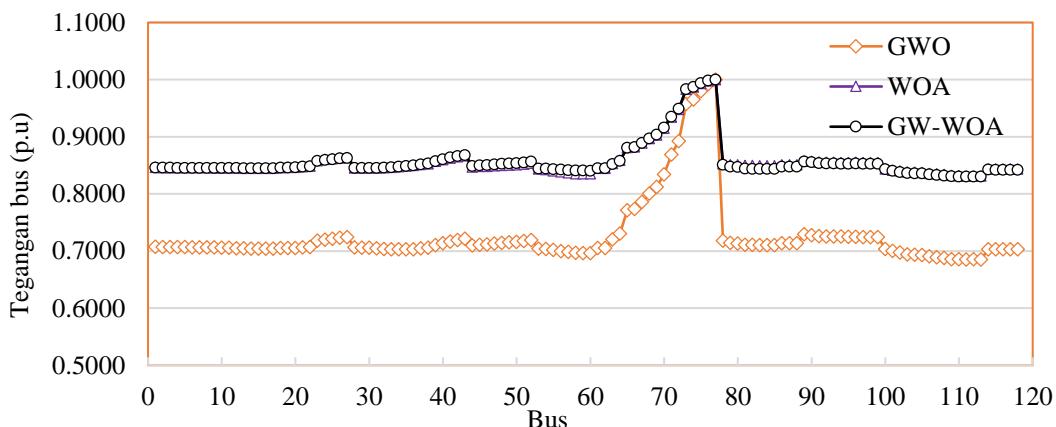
Tabel 2. Ringkasan hasil optimisasi pelepasan beban untuk faktor pembebanan 80% dari beban dasar

Parameter	Algoritma Optimisasi		
	<i>GW-WOA</i>	<i>WOA</i>	<i>GWO</i>
P_{load} (kW)	18,167.20	18,167.20	18,167.20
P_{shed} (kW)	12,937.40	12,961.20	11,622.10
P_{remain} (kW)	5,230.90	5,205.70	6,545.30
P_{loss} (kW)	468.30	472.90	1,560.60
$P_{remain} + P_{loss}$	5,699.20	5,678.60	8,105.90

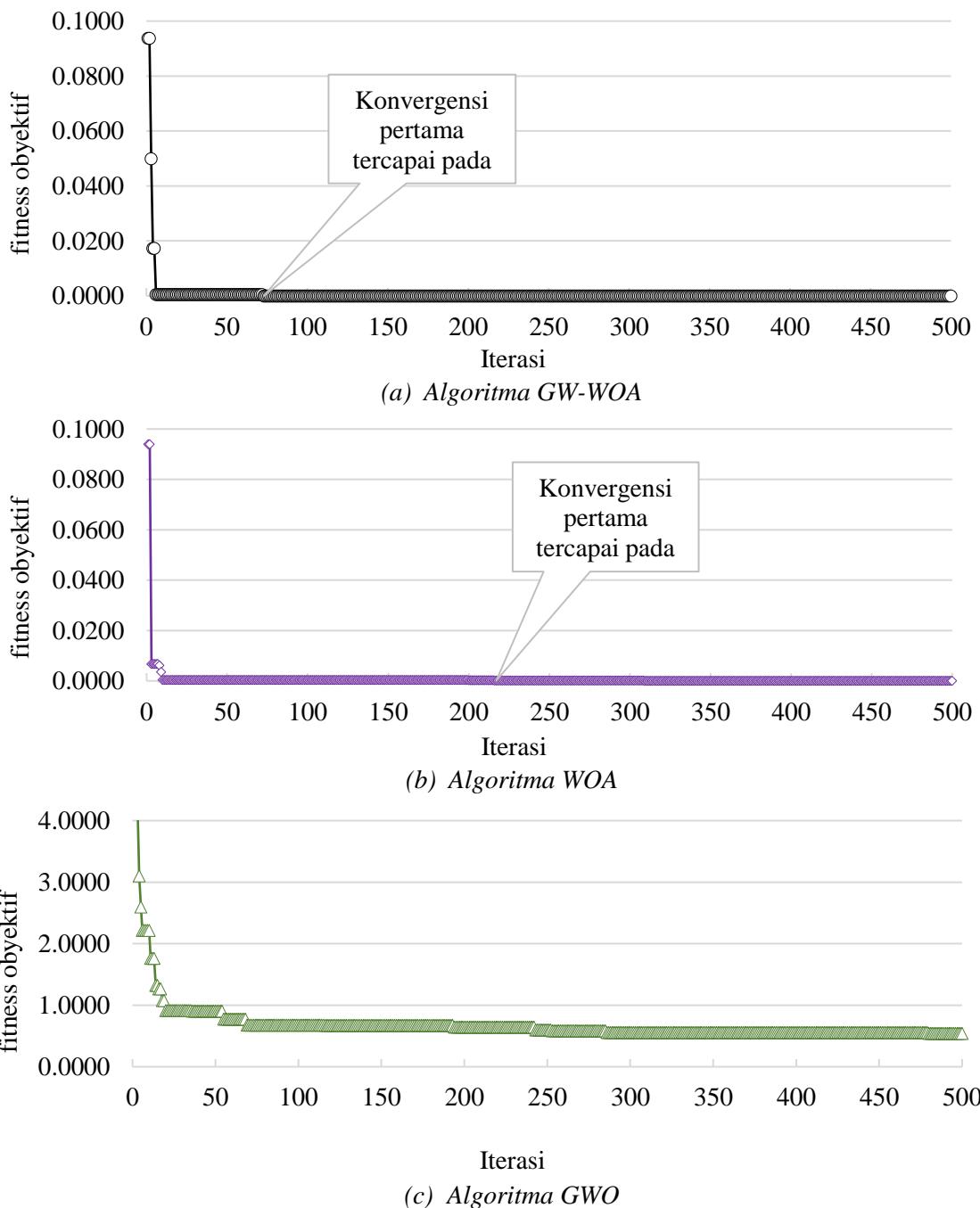
Algoritma *WOA* dan *GW-WOA* mampu memberikan hasil optimal. Algoritma *GW-WOA* menghasilkan nilai beban dilepaskan dari jaringan (P_{shed}) yang lebih rendah yaitu sebesar 12,937.40 kW dibandingkan dengan algoritma *WOA* sebesar 12,961.20 kW. Hasil ini menunjukkan bahwa *GW-WOA* dapat memberikan hasil yang paling optimal untuk meminimalkan beban yang dilepaskan dari jaringan.

Jika diamati dari beban tersisa dalam jaringan (P_{remain}), algoritma *GWO-WOA* dan *WOA* mampu menghasilkan pelepasan beban yang optimal dengan beban tersisa dalam jaringan masing-masing sebesar $P_{remain} = 5,230.90$ kW untuk algoritma *GW-WOA* dan $P_{remain} = 5,204.70$ kW untuk algoritma *WOA*. Rugi daya dalam jaringan setelah pelepasan beban adalah $P_{loss} = 468.30$ kW untuk algoritma *GW-WOA* dan $P_{loss} = 472.90$ kW untuk algoritma *WOA*. Defisit daya dalam jaringan mampu diatasi dan terwujud keseimbangan daya dalam jaringan dimana total daya beban tersisa dan rugi daya masih dibawah kapasitas pembangkitan maksimal dari DG. Hasil optimisasi pelepasan beban juga menunjukkan bahwa algoritma *GW-WOA* lebih baik dibandingkan *WOA* dimana daya beban yang tersisa dalam jaringan P_{remain} oleh algoritma *GW-WOA* lebih besar dibanding *WOA* dan rugi daya dalam jaringan P_{loss} dari algoritma *GW-WOA* yang lebih kecil dibandingkan algoritma *WOA*. Hal ini berarti bahwa kapasitas daya DG dapat dimanfaatkan secara maksimal dalam mempertahankan keberlanjutan pasokan daya ke beban selama kondisi isolasi terjadi.

Profile tegangan setelah optimisasi pelepasan beban disajikan pada gambar 4. Dari gambar tersebut dapat diamati bahwa setelah optimisasi pelepasan beban dengan algoritma *GW-WOA*, kondisi tegangan bus dalam jaringan juga lebih baik dibandingkan hasil yang diberikan algoritma standar *WOA*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai tegangan keseluruhan bus yang lebih tinggi didapatkan dari algoritma *GW-WOA* dibandingkan dengan algoritma *WOA*.



*Gambar 4. Profil tegangan bus dalam jaringan yang dibebani 80% dari beban dasar setelah optimisasi pelepasan beban dengan algoritma *GW-WOA*, standar *WOA*, dan standar *GWO**



Gambar 5 Karakteristik konvergensi algoritma dalam optimisasi pelepasan beban pada jaringan yang dibebani 80% dari beban dasar: (a) algoritma GW-WOA, (b) standar WOA, dan (c) standar GWO

Karakteristik konvergensi pada gambar 5 menunjukkan perbandingan kinerja dari ketiga algoritma dalam optimisasi pelepasan beban. Algoritma GWO menunjukkan hasil bahwa dalam 500 iterasi belum mampu mencapai hasil optimal dari pelepasan beban untuk mewujudkan keseimbangan daya dalam jaringan. Sementara untuk algoritma GW-WOA dan WOA mampu mencapai nilai untuk menentukan pelepasan beban sehingga terwujud keseimbangan daya dalam jaringan untuk mengatasi defisit daya saat terjadi isolasi jaringan. Semua algoritma dapat memberikan hasil yang optimal secara global.

Algoritma GW-WOA mampu menunjukkan kinerja yang lebih cepat dibandingkan dengan algoritma WOA. Dari gambar 5 dapat diamati bahwa algoritma GW-WOA mampu konvergen lebih cepat dibandingkan dengan algoritma WOA. Pada iterasi ke 73, algoritma GW-WOA telah mampu memberikan hasil optimal sedangkan algoritma WOA pada iterasi ke 216. Sedangkan algoritma GWO belum mampu mencapai nilai optimal hingga batas iterasi ke 500. Hasil ini menunjukkan bahwa hibridasi algoritma GWO dan WOA membentuk algoritma hibrid GW-WOA telah mampu meningkatkan kinerja secara signifikan dibandingkan dengan algoritma standar GWO dan standar WOA. Perbaikan kinerja yang didapatkan

adalah dalam bentuk nilai optimal yang lebih baik dan proses optimisasi yang lebih cepat konvergen.

5.2. Studi Kasus-2: Optimisasi Pelepasan Beban Pada Tingkat Pembebanan 100% dari Beban Dasar

Pada saat pembebanan jaringan sebesar 100% dari beban dasar, total daya aktif dan reaktif dari beban dalam jaringan masing-masing adalah 22,709.70 kW dan 17,041.20 kVAR. Dengan total pembangkitan daya maksimum dari 12 unit DG sebesar 6,000 kW, defisit daya jaringan saat terisolasi adalah 16,709.70 kW sehingga diperlukan pelepasan beban secara parsial untuk mendapatkan keseimbangan daya antara pembangkitan DG dengan daya beban.

Hasil optimisasi pelepasan beban yang terdiri dari total daya beban 100% dari beban dasar (P_{load}), total pelepasan beban (P_{shed}), total daya beban yang tersisa di jaringan (P_{remain}), dan rugi-rugi daya pada jaringan (P_{loss}) setelah pelepasan beban yang dioptimisasi dengan algoritma *GW-WOA* yang diusulkan, standar *GWO*, dan standar *WOA* sebagai pembanding ditunjukkan pada tabel 3. Pengamatan dilakukan untuk iterasi perhitungan sebanyak 500 kali.

Dari tabel 3 dapat diamati bahwa dalam 500 iterasi algoritma *GWO* belum mampu memberikan hasil optimal dalam pelepasan beban. Hal ini ditunjukkan oleh nilai $P_{remain} = 6,557.80$ kW yang masih melebihi kapasitas pembangkitan maksimal yang bisa dihasilkan oleh DG yaitu $P_{max DG} = 6,000$ kW. Kondisi ini menunjukkan belum tercapainya keseimbangan daya beban dan daya pembangkitan DG. Defisit daya dalam jaringan masih tetap terjadi dikarenakan total daya beban tersisa dan rugi daya dalam jaringan masih melebihi dari kapasitas pembangkitan daya dai keseluruhan unit DG.

Untuk algoritma *WOA* dan *GW-WOA* mampu memberikan hasil optimal dari pelepasan beban. Algoritma *GW-WOA* menghasilkan nilai beban dilepaskan dari jaringan (P_{shed}) yang lebih rendah yaitu sebesar 17,492.20 kW dibandingkan dengan algoritma *WOA* sebesar 17,537.30 kW. Hasil ini menunjukkan bahwa *GW-WOA* dapat memberikan hasil yang paling optimal untuk meminimalkan beban yang dilepaskan dari jaringan.

Jika diamati dari beban tersisa dalam jaringan (P_{remain}), algoritma *GWO-WOA* dan *WOA* mampu menghasilkan pelepasan beban yang optimal. Beban tersisa dalam jaringan masing-masing sebesar $P_{remain} = 5,217.60$ kW untuk algoritma *GW-WOA* dan $P_{remain} = 5,172.10$ kW untuk algoritma *WOA*. Hasil tersebut menunjukkan

Tabel 3 Hasil optimisasi pelepasan beban untuk faktor pembebanan 100% dari beban dasar

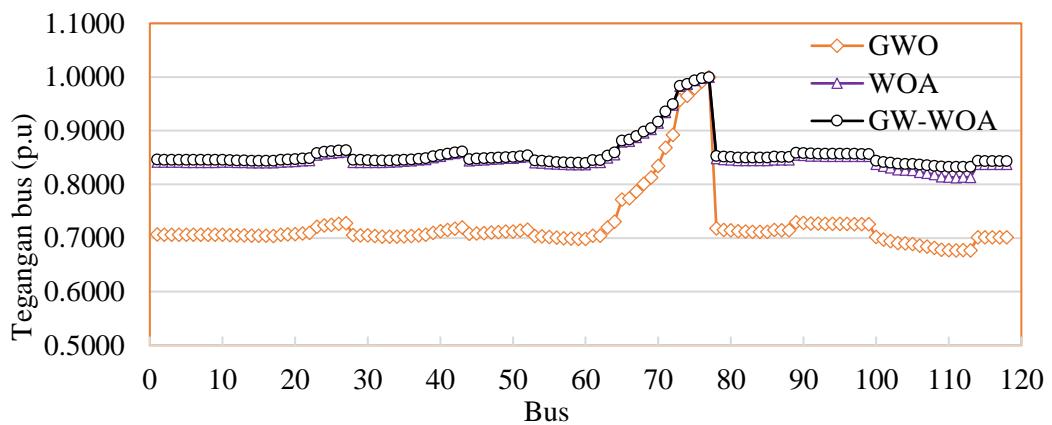
Parameter	Algoritma Optimisasi		
	<i>GW-WOA</i>	<i>WOA</i>	<i>GWO</i>
P_{load} (kW)	22,709.70	22,709.70	22,709.70
P_{shed} (kW)	17,492.20	17,537.30	16,152.10
P_{remain} (kW)	5,217.60	5,172.10	6,557.80
P_{loss} (kW)	459.00	510.60	1,571.20
$P_{remain} + P_{loss}$	5,676.60	5,682.70	8,129.00

bahwa algoritma *GW-WOA* mmbberikan hasil lebih baik dimana beban yang bisa dipertahankan dalam jaringan adalah lebih besar dibandingkan algoritma *WOA*.

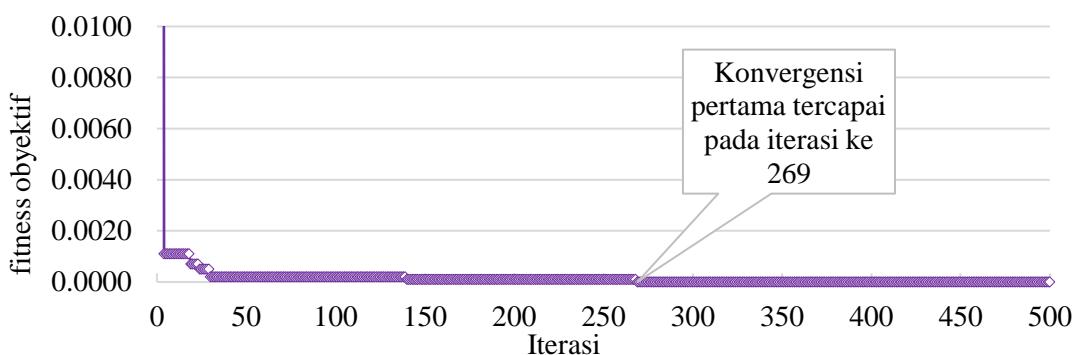
Rugi daya dalam jaringan setelah optimisasi pelepasan beban adalah $P_{loss} = 459.00$ kW untuk algoritma *GW-WOA* dan $P_{loss} = 472.90$ kW untuk algoritma *WOA*. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa algoritma *GW-WOA* mampu memberikan hasil optimisasi yang lebih baik, dimana rugi-rugi dalam jaringan setelah pelepasan beban bernilai paling rendah sehingga jaringan lebih efisien.

Defisit daya dalam jaringan mampu diatasi dan terwujud keseimbangan daya dalam jaringan dimana total daya beban tersisa dan rugi daya masih dibawah kapasitas pembangkitan maksimal dari DG. Hasil optimisasi pelepasan beban juga menunjukkan bahwa algoritma *GW-WOA* lebih baik dibandingkan *WOA* dimana daya beban yang tersisa dalam jaringan P_{remain} oleh algoritma *GW-WOA* lebih besar dibanding *WOA* dan rugi daya dalam jaringan P_{loss} dari algoritma *GW-WOA* yang lebih kecil dibandingkan algoritma *WOA*. Hal ini berarti bahwa kapasitas daya DG dapat dimanfaatkan secara maksimal dalam mempertahankan keberlanjutan pasokan daya ke beban selama kondisi isolasi terjadi.

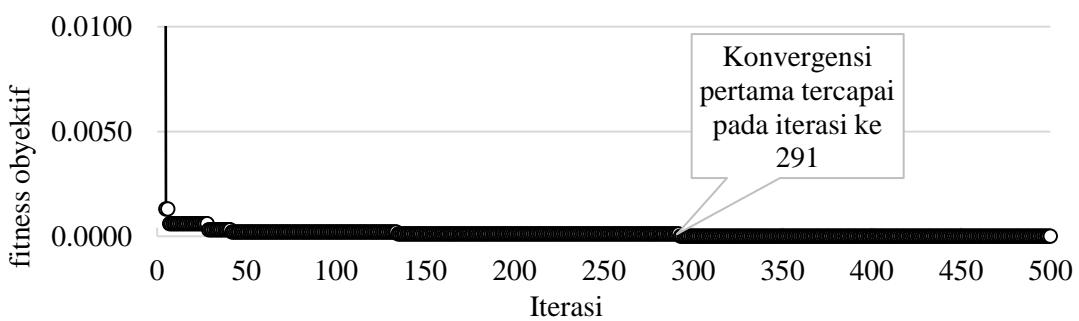
Profile tegangan setelah optimisasi pelepasan beban disajikan pada gambar 6. Dari gambar tersebut dapat diamati bahwa setelah optimisasi pelepasan beban dengan algoritma *GW-WOA*, kondisi tegangan bus dalam jaringan juga lebih baik dibandingkan hasil yang diberikan algoritma standar *WOA*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai tegangan keseluruhan bus yang lebih tinggi didapatkan dari algoritma *GW-WOA* dibandingkan dengan algoritma *WOA*.



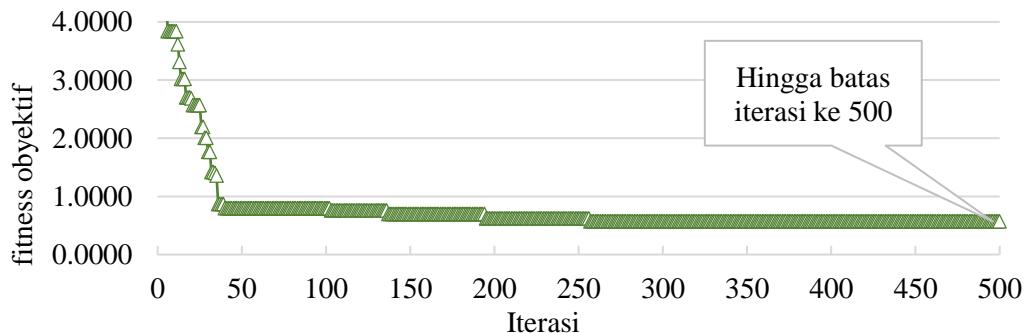
Gambar 6. Profil tegangan bus dalam jaringan yang dibebani 100% dari beban dasar setelah optimisasi pelepasan beban dengan algoritma GW-WOA, standar WOA, dan standar GWO



(a) Algoritma GW-WOA



(b) Algoritma WOA



(c) Algoritma GWO

Gambar 7 Karakteristik konvergensi algoritma dalam optimisasi pelepasan beban pada jaringan yang dibebani 100% dari beban dasar: (a) algoritma GW-WOA, (b) standar WOA, dan (c) standar GWO

Karakteristik konvergensi pada gambar 7 menunjukkan perbandingan kinerja dari ketiga algoritma dalam optimisasi pelepasan beban. Algoritma *GWO* menunjukkan hasil bahwa dalam 500 iterasi belum mampu mencapai hasil optimal dari pelepasan beban untuk mewujudkan keseimbangan daya dalam jaringan. Sementara untuk algoritma *GW-WOA* dan *WOA* mampu mencapai nilai untuk menentukan pelepasan beban sehingga terwujud keseimbangan daya dalam jaringan untuk mengatasi defisit daya saat terjadi isolasi jaringan. Semua algoritma dapat memberikan hasil yang optimal secara global.

Algoritma *GW-WOA* mampu menunjukkan kinerja yang lebih cepat dibandingkan dengan algoritma *WOA*. Dari gambar 7 dapat diamati bahwa algoritma *GW-WOA* mampu konvergen lebih cepat dibandingkan dengan algoritma *WOA*. Pada iterasi ke 269, algoritma *GW-WOA* telah mampu memberikan hasil optimal sedangkan algoritma *WOA* pada iterasi ke 291. Sedangkan algoritma *GWO* belum mampu mencapai nilai optimal hingga batas iterasi ke 500. Hasil ini menunjukkan bahwa pada tingkat pembebanan jaringan 100% dari beban dasar, algoritma *GW-WOA* tetap menunjukkan keunggulannya dibandingkan dengan algoritma standar *GWO* dan standar *WOA*.

5.3. Studi Kasus-3: Optimisasi Pelepasan Beban Pada Tingkat Pembebanan 140% dari Beban Dasar

Pada saat pembebanan jaringan sebesar 140% dari beban dasar, total daya aktif dan reaktif dari beban dalam jaringan masing-masing adalah 31,793.20 kW dan 23,857.20 kVAR. Dengan total pembangkitan daya maksimum dari 12 unit DG sebesar 6,000 kW, defisit daya jaringan saat terisolasi adalah 25,932.20 kW dan nilai tersebut merupakan jumlah daya beban yang harus dilepaskan dari jaringan untuk mendapatkan keseimbangan daya antara pembangkitan DG dengan daya beban yang tersisa dalam jaringan.

Hasil optimisasi pelepasan beban yang terdiri dari total daya beban 140% dari beban dasar (P_{load}), total pelepasan beban (P_{shed}), total daya beban yang tersisa di jaringan (P_{remain}), dan rugi-rugi daya pada jaringan (P_{loss}) setelah pelepasan beban yang dioptimisasi dengan algoritma *GW-WOA* yang diusulkan, standar *GWO*, dan standar *WOA* sebagai pembanding ditunjukkan pada tabel 4. Pengamatan dilakukan untuk iterasi perhitungan sebanyak 500 kali.

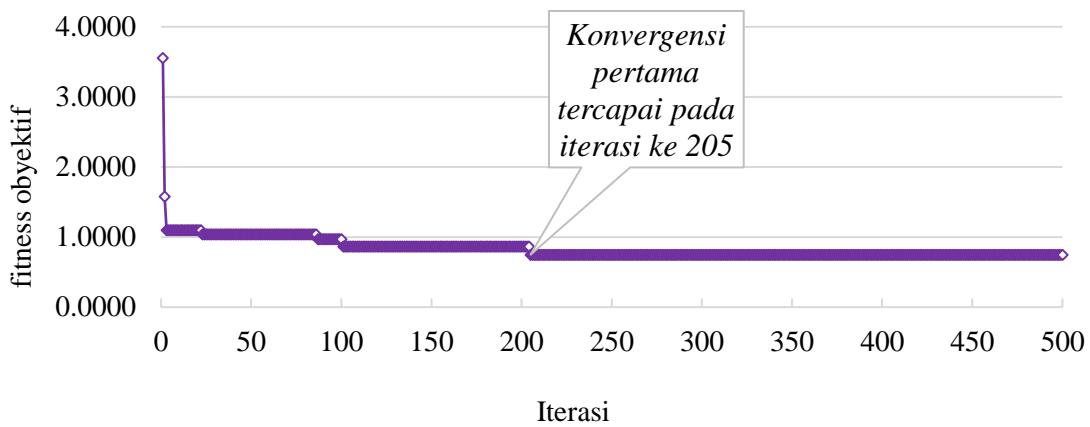
Tabel 4 Hasil optimisasi pelepasan beban untuk faktor pembebanan 80% dari beban dasar

Parameter	Algoritma Optimisasi		
	<i>GW-WOA</i>	<i>WOA</i>	<i>GWO</i>
P_{load} (kW)	31,792.20	31,792.20	31,792.20
P_{shed} (kW)	26,587.20	25,121.10	24,561.00
P_{remain} (kW)	5,206.70	6,672.50	7,232.60
P_{loss} (kW)	769.30	1,683.80	3,020.20
$P_{remain} + P_{loss}$	5,976.0	8,356.30	10,252.80

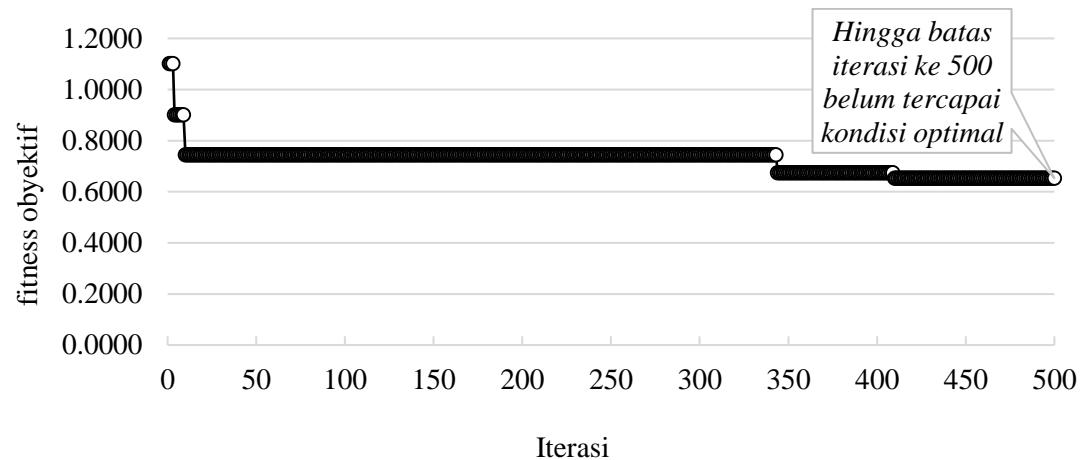
Dari tabel 4 dapat diamati bahwa dalam 500 iterasi algoritma standar *GWO* dan *WOA* belum mampu memberikan hasil optimal dalam pelepasan beban. Hal ini ditunjukkan oleh nilai P_{remain} masing-masing sebesar 6,672.50 kW dan 7,232.60 kW. Nilai-nilai tersebut masih melebihi kapasitas pembangkitan maksimal yang bisa dihasilkan oleh DG yaitu $P_{max DG} = 6,000$ kW. Kondisi ini menunjukkan belum tercapainya keseimbangan daya beban dan daya pembangkitan DG. Defisit daya dalam jaringan masih tetap terjadi dikarenakan total daya beban tersisa dan rugi daya dalam jaringan masih melebihi dari kapasitas pembangkitan daya dari keseluruhan unit DG.

Untuk algoritma *GW-WOA* mampu memberikan hasil optimal dari pelepasan beban. Algoritma *GW-WOA* menghasilkan nilai beban dilepaskan dari jaringan (P_{shed}) sebesar 26,587.20 kW. Beban tersisa dalam jaringan (P_{remain}) sebesar 5,206.70 kW dan rugi daya (P_{loss}) sebesar 769.30 kW. Total jumlah P_{remain} dan P_{loss} adalah sebesar 5,976.00 kW. Nilai tersebut masih dibawah kapasitas pembangkitan daya dari DG. Hasil tersebut menunjukkan bahwa algoritma *GW-WOA* memberikan hasil yang optimal dalam pelepasan beban dan mampu mewujudkan keseimbangan daya dalam jaringan.

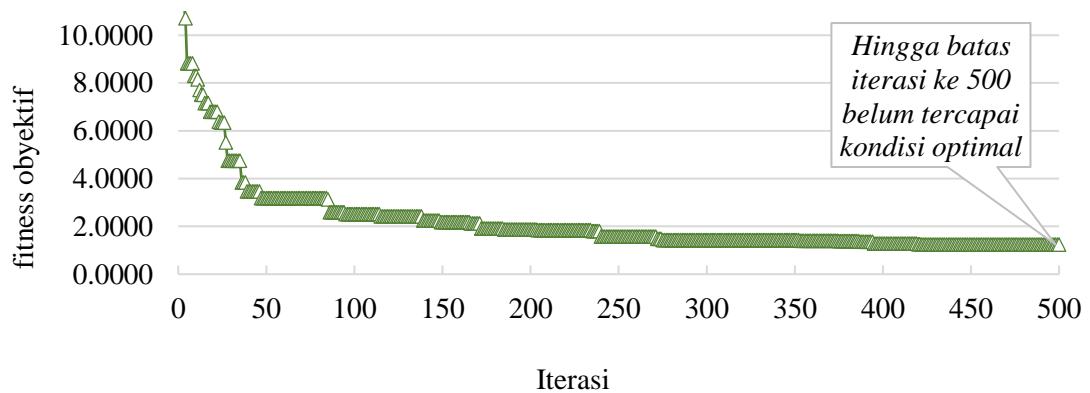
Karakteristik konvergensi pada gambar 8 menunjukkan perbandingan kinerja dari ketiga algoritma dalam optimisasi pelepasan beban. Algoritma *GW-WOA* mampu menunjukkan kinerja yang lebih unggul dimana konvergen pertama tercapai pada iterasi ke 205. Sedangkan untuk algoritma *GWO* dan *WOA* belum mencapai konvergen hingga pada batas akhir iterasi ke 500.



(a) Algoritma GW-WOA



(b) Algoritma WOA



(c) Algoritma GWO

Gambar 8. Karakteristik konvergensi algoritma dalam optimisasi pelepasan beban pada jaringan yang dibebani 140% dari beban dasar: (a) algoritma GW-WOA, (b) standar WOA, dan (c) standar GWO

6. Kesimpulan

Makalah ini membahas tentang algoritma hybrid paralel GW-WOA yang diterapkan pada strategi pelepasan beban yang optimal pada jaringan distribusi terintegrasi DG yang terisolasi dari jaringan utama. Metode yang diusulkan sesuai pada penyelesaian optimisasi pelepasan

beban dengan memanfaatkan kelebihan dari GWO dan WOA.

Optimisasi pelepasan beban dengan menggunakan GW-WOA telah dikaji dengan tujuan untuk memaksimalkan beban tersisa dalam jaringan dengan mempertimbangkan beban prioritas dan variasi faktor pembebanan. Kondisi

profil tegangan dan rugi daya juga digunakan untuk mengevaluasi hasil optimisasi.

Hasil optimasi load-shedding dengan algoritma GW-WOA yang diusulkan dibandingkan dengan algoritma standar GWO dan WOA. Performa algoritma GW-WOA dapat mengungguli algoritma PSO dan GWO standar, yang ditunjukkan dengan capaian dari tujuan optimasi dan kecepatan konvergensi.

Secara praktis, seiring dengan meningkatnya integrasi DG ke dalam jaringan distribusi akan membuka peluang dalam menjaga kontinuitas pasokan daya ke beban kususnya ketika jaringan mengalami berhubungan dengan pertumbuhan penetrasi DG dalam jaringan distribusi terisolasi. Strategi pelepasan beban yang optimal akan sangat diperlukan ketika terjadi ketidakseimbangan daya pembangkitan dan beban dalam jaringan yang terisolasi.

Kajian ini dapat dikembangkan untuk dilakukan optimisasi pelepasan beban dan rekonfigurasi secara simultan pada jaringan distribusi yang terisolasi untuk meningkatkan keandalan jaringan distribusi.

7. References

- [1] T. H. B. Huy, D. N. Vo, K. H. Truong, and T. Van Tran, "Optimal Distributed Generation Placement in Radial Distribution Networks Using Enhanced Search Group Algorithm," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 103288–103305, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3316725.
- [2] L. A. Alnabi, A. K. Dhaher, and M. B. Essa, "Optimal Allocation of Distributed Generation with Reconfiguration by Genetic Algorithm Using Both Newton Raphson and Gauss Seidel Methods for Power Losses Minimizing," *Int. J. Intell. Eng. Syst.*, vol. 15, no. 1, pp. 464–476, 2022, doi: 10.22266/IJIES2022.0228.42.
- [3] V. V. V. S. N. Murty and A. Kumar, "Optimal DG integration and network reconfiguration in microgrid system with realistic time varying load model using hybrid optimisation," *IET Smart Grid*, vol. 2, no. 2, pp. 192–202, 2019, doi: 10.1049/iet-stg.2018.0146.
- [4] J. Xu *et al.*, "Load Shedding and Restoration for Intentional Island with Renewable Distributed Generation," *J. Mod. Power Syst. Clean Energy*, vol. 9, no. 3, pp. 612–624, 2021, doi: 10.35833/MPCE.2019.000062.
- [5] A. Khamis, H. Shareef, A. Mohamed, and Z. Y. Dong, "A load shedding scheme for DG integrated islanded power system utilizing backtracking search algorithm," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 9, no. 1, pp. 161–172, 2018, doi: 10.1016/j.asej.2015.10.001.
- [6] A. K. Barnwal, L. K. Yadav, and M. K. Verma, "A Multi-Objective Approach for Voltage Stability Enhancement and Loss Reduction under PQV and P Buses Through Reconfiguration and Distributed Generation Allocation," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 16609–16623, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3146333.
- [7] S. Kamel, M. Khasanov, F. Jurado, A. Kurbanov, H. M. Zawbaa, and M. A. Alathbah, "Simultaneously Distributed Generation Allocation and Network Reconfiguration in Distribution Network Considering Different Loading Levels," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 105916–105934, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3319456.
- [8] V. Tamilselvan, "A hybrid PSO-ABC algorithm for optimal load shedding and improving voltage stability," *Int. J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 34, no. 6, pp. 577–597, 2020, doi: 10.1504/IJMTM.2020.109999.
- [9] R. M. Larik, M. W. Mustafa, M. N. Aman, T. A. Juman, S. Sajid, and M. K. Panjwani, "An improved algorithm for optimal load shedding in power systems," *Energies*, vol. 11, no. 7, pp. 1–16, 2018, doi: 10.3390/en11071808.
- [10] J. Jallad, S. Mekhilef, H. Mokhlis, J. Laghari, and O. Badran, "Application of hybrid meta-heuristic techniques for optimal load shedding planning and operation in an islanded distribution network integrated with distributed generation," *Energies*, vol. 11, no. 5, pp. 1134–1158, 2018, doi: 10.3390/en11051134.
- [11] M. Wang and J. Zhong, "Islanding of systems of distributed generation using optimization methodology," *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, pp. 1–7, 2012, doi: 10.1109/PESGM.2012.6345009.
- [12] L. M. Cruz, D. L. Alvarez, A. S. Al-Sumaiti, and S. Rivera, "Load curtailment optimization using the PSO algorithm for enhancing the reliability of distribution networks," *Energies*, vol. 13, no. 12, pp. 1–15, 2020, doi: 10.3390/en13123236.
- [13] S. K. Mosavi, E. Jalalian, and F. S. Gharahchopog, "a Comprehensive Survey of Grey Wolf Optimizer Algorithm and Its Application," *Int. J. Adv. Robot. Expert Syst.*, vol. 1, no. 6, pp. 23–45, 2021.
- [14] S. Mirjalili and A. Lewis, "The Whale Optimization Algorithm," *Adv. Eng. Softw.*, vol. 95, pp. 51–67, 2016, doi: 10.1016/j.advengsoft.2016.01.008.
- [15] S. Mirjalili, S. M. Mirjalili, and A. Lewis, "Grey Wolf Optimizer," *Adv. Eng. Softw.*, vol. 69, pp. 46–61, 2014, doi: 10.1016/j.advengsoft.2013.12.007.
- [16] H. Hartono, M. Azis, and Y. Muhamarni, "Optimal Capacitor Placement for IEEE 118 Bus System by Using Genetic Algorithm," *Proc. 2nd Int. Conf. High*

Volt. Eng. Power Syst. Towar. Sustain. Reliab.
Power Deliv. ICHVEPS 2019, vol. 1, no. 3, pp. 1–5,
2019, doi: 10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011111.

- [17] D. Zhang, Z. Fu, and L. Zhang, “An improved TS algorithm for loss-minimum reconfiguration in large-scale distribution systems,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 77, no. 5–6, pp. 685–694, 2007, doi: 10.1016/j.epsr.2006.06.005

Lampiran 6. HKI

PERMOHONAN PENDAFTARAN CIPTAAN

I. Pencipta :

1. Nama : Sujono
 2. Kewarganegaraan : Indonesia
 3. Alamat lengkap : Jl. M Masan no 73, RT 03 RW 05, Kel. Kunciran, Kec. Pinang
dan kode pos Kota Tangerang, Banten, Kode Pos: 15144
 4. No. HP & E-mail : 081218278184, sujono@budiluhur.ac.id
-
1. Nama : Akhmad Musafa
 2. Kewarganegaraan : Indonesia
 3. Alamat lengkap : Pondok Lakah Permai Blok H/4 RT.002/016,
dan kode pos Paninggilan, Ciledug, Kota Tangerang, Kode Pos: 15153
 4. No. HP & E-mail : 0811-1574-710, akhmad.musafa@budiluhur.ac.id

II. Jenis dari judul ciptaan yang

Dimohonkan : Hak Cipta

III. Tanggal dan tempat di-

umumkan untuk pertama
kali di wilayah Indonesia
atau di luar wilayah Indo-
nesia : Jakarta, 7 Februari 2025

IV Deskripsi singkat ciptaan : Ciptaan ini merupakan algoritma hibrid paralel Grey

Wolf-Whale Optimization Algorithm (GW-WOA)
yang memiliki kinerja lebih baik dari algoritma
standar GWO dan WOA. Algoritma GW-WOA
diimplementasikan pada optimisasi pelepasan beban
pada jaringan distribusi tenaga listrik sebagai bagian
dari strategi operasional pada jaringan distribusi

yang terisolasi dari jaringan utama. Algoritma GW-WOA merupakan algoritma yang terinspirasi dari kecerdasan pada perilaku sekawan serigala (Wolf) dan paus bungkuk (Whale) dalam berburu mangsa.

Jakarta, 7 Februari 2025

Tanda Tangan : _____
Nama Lengkap : Sujono

Tanda Tangan : _____
Nama Lengkap : Akhmad Musafa

SURAT PENGALIHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

N a m a : Sujono

Alamat : Jl. M Masan no 73, RT 03 RW 05, Kel. Kunciran, Kec. Pinang,

Kota Tangerang, Banten, 15144

N a m a : Akhmad Musafa

Alamat : Pondok Lakah Permai Blok H/4 RT.002/016,
Paninggilan, Ciledug, Kota Tangerang, 15153

Adalah **Pihak I** selaku pencipta, dengan ini menyerahkan karya ciptaan saya kepada :

N a m a : Direktorat Riset dan PPM Universitas Budi Luhur

Alamat : Universitas Budi Luhur

Jl. Raya Ciledug Petukangan Utara, Jakarta Selatan,

12260

Adalah **Pihak II** selaku Pemegang Hak Cipta berupa Hybrid Grey Wolf-Whale Optimizer Algorithm Untuk Optimisasi Pelepasan Beban Pada Jaringan Distribusi Terisolasi untuk didaftarkan di Direktorat Hak Cipta dan Desain Industri, Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual, Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia.

Demikianlah surat pengalihan hak ini kami buat, agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 7 Februari 2025

Pemegang Hak Cipta

Pencipta

(Prof. Dr. Prudensius Maring, MA)

(Sujono)

(Akhmad Musafa)

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini, pemegang hak cipta:

N a m a : Sujono
Kewarganegaraan : Indonesia
Alamat : Jl. M Masan no 73, RT 03 RW 05, Kel. Kunciran, Kec. Pinang, Kota Tangerang, Banten, 15144

N a m a : Akhmad Musafa
Kewarganegaraan : Indonesia
Alamat : Pondok Lakah Permai Blok H/4 RT.002/016,
Paninggilan, Ciledug, Kota Tangerang, 15153

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Karya Cipta yang saya mohonkan:

Berupa : Pengembangan algoritma
Berjudul : **Hybrid Grey Wolf-Whale Optimizer Algorithm Untuk Optimisasi Pelepasan Beban Pada Jaringan Distribusi Terisolasi**

- Tidak meniru dan tidak sama secara esensial dengan Karya Cipta milik pihak lain atau obyek kekayaan intelektual lainnya sebagaimana dimaksud dalam Pasal 68 ayat (2);
- Bukan merupakan Ekspresi Budaya Tradisional sebagaimana dimaksud dalam Pasal 38;
- Bukan merupakan Ciptaan yang tidak diketahui penciptanya sebagaimana dimaksud dalam Pasal 39;
- Bukan merupakan hasil karya yang tidak dilindungi Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 41 dan 42;
- Bukan merupakan Ciptaan seni lukis yang berupa logo atau tanda pembeda yang digunakan sebagai merek dalam perdagangan barang/jasa atau digunakan sebagai lambang organisasi, badan usaha, atau badan hukum sebagaimana dimaksud dalam Pasal 65 dan;
- Bukan merupakan Ciptaan yang melanggar norma agama, norma susila, ketertiban umum, pertahanan dan keamanan negara atau melanggar peraturan perundangan;

undangan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 74 ayat (1) huruf d Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.

2. Sebagai pemohon mempunyai kewajiban untuk menyimpan asli contoh ciptaan yang dimohonkan dan harus memberikan apabila dibutuhkan untuk kepentingan penyelesaian sengketa perdata maupun pidana sesuai dengan ketentuan perundang-undangan.
3. Karya Cipta yang saya mohonkan pada Angka 1 tersebut di atas tidak pernah dan tidak sedang dalam sengketa pidana dan/atau perdata di Pengadilan.
4. Dalam hal ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Angka 1 dan Angka 3 tersebut di atas saya / kami langgar, maka saya / kami bersedia secara sukarela bahwa:
 - a. permohonan karya cipta yang saya ajukan dianggap ditarik kembali; atau
 - b. Karya Cipta yang telah terdaftar dalam Daftar Umum Ciptaan Direktorat Hak Cipta, Direktorat Jenderal Hak Kekayaan Intelektual, Kementerian Hukum Dan Hak Asasi Manusia R.I dihapuskan sesuai dengan ketentuan perundang-undangan yang berlaku.
 - c. Dalam hal kepemilikan Hak Cipta yang dimohonkan secara elektronik sedang dalam berperkara dan/atau sedang dalam gugatan di Pengadilan maka status kepemilikan surat pencatatan elektronik tersebut ditangguhkan menunggu putusan Pengadilan yang berkekuatan hukum tetap.

Demikian Surat pernyataan ini saya/kami buat dengan sebenarnya dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 7 Februari 2025

Tanda Tangan : _____
Nama Lengkap : Sujono

Tanda Tangan : _____
Nama Lengkap : Akhmad Musafa

* Semua pemegang hak cipta agar menandatangani di atas materai.