

**REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI UNTUK
MEMINIMALISASI RUGI-RUGI DAYA DENGAN MENGGUNAKAN
METODE *GREY WOLF OPTIMIZER* (GWO)**

(Skripsi)

Oleh

M. HARBI RAI PANGESTU



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI UNTUK MEMINIMALISASI RUGI-RUGI DAYA DENGAN MENGGUNAKAN METODE *GREY WOLF OPTIMIZER* (GWO)

Oleh

M. HARBI RAI PANGESTU

Rekonfigurasi jaringan pada jaringan distribusi merupakan suatu proses atau usaha untuk mengubah status sakelar pada saluran yang terhubung (*sectionalizing switch*) dan yang tidak terhubung (*tie switch*) dengan tujuan untuk meminimalisasi rugi-rugi daya dan memperbaiki profil tegangan pada sistem. Rekonfigurasi dilakukan dengan mengganti jalur saluran baru yang terhubung tanpa menambah jumlah saluran. Namun, proses rekonfigurasi yang tidak tepat akan menyebabkan rugi-rugi daya menjadi lebih besar. Pada penelitian ini, metode *Grey Wolf Optimizer* (GWO) digunakan untuk melakukan rekonfigurasi yang optimal terhadap kasus sistem standar IEEE 33-bus dan sistem standar IEEE 69-bus. Hasil simulasi pada sistem standar IEEE 33-bus menunjukkan bahwa setelah dilakukan optimasi rekonfigurasi, rugi-rugi daya aktif pada sistem menjadi sebesar 139,5513 kW atau berkurang sebesar 31,146% dari sebelum rekonfigurasi, yaitu 202,6771 kW. Sedangkan pada sistem standar IEEE 69-bus, rugi-rugi daya aktif menjadi sebesar 98,6056 kW atau berkurang sebesar 56,1754% dari sebelum rekonfigurasi, yaitu 225,0007 kW. Dengan menggunakan metode GWO mampu mengurangi rugi-rugi daya aktif yang lebih baik dibandingkan dengan beberapa metode lain.

Kata kunci: Rekonfigurasi, minimalisasi rugi-rugi, optimasi, *Grey Wolf Optimizer* (GWO)

ABSTRACT

RECONFIGURATION OF THE DISTRIBUTION NETWORK FOR POWER LOSS MINIMIZATION USING GREY WOLF OPTIMIZER (GWO)

By

M. HARBI RAI PANGESTU

Reconfiguration in the distribution network is a process or attempt to change the status of switches on connected (sectionalizing) and unconnected (tie switches) channels with the aim of minimizing power losses and improving the voltage profile of the system. Reconfiguration is done by changing the new channel line that is connected without increasing the number of channels. However, an improper reconfiguration process will result in greater power losses. In this study, the Grey Wolf Optimizer (GWO) method is used to perform optimal reconfiguration of the case of the IEEE 33-bus standard system and the IEEE 69-bus standard system. The simulation results on the IEEE 33-bus standard system show that after reconfiguration optimization, the active power losses in the system are 139.5513 kW or decreased by 31.146% from before reconfiguration, which is 202.6771 kW. While in the IEEE 69-bus standard system, the active power losses are 98.6056 kW or a decrease of 56.1754% from before reconfiguration, which is 225,0007 kW. By using the GWO method, it is able to reduce active power losses better than some other methods.

Keywords: Reconfiguration, power losses, optimization, Grey Wolf Optimizer (GWO)

**REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI UNTUK
MEMINIMALISASI RUGI-RUGI DAYA DENGAN MENGGUNAKAN
METODE *GREY WOLF OPTIMIZER* (GWO)**

Oleh

M. HARBI RAI PANGESTU

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

Judul Skripsi

**: REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI
UNTUK MEMINIMALISASI RUGI-RUGI DAYA
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *GREY*
WOLF OPTIMIZER (GWO)**

Nama Mahasiswa

: M. Harbi Rai Pangestu

Nomor Pokok Mahasiswa : 1715031042

Jurusan

: Teknik Elektro

Fakultas

: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Osea Zebua, S.T., M.T.

NIP. 19700609 199903 1 002

Herri Gusmedi, ST., M.T.

NIP. 19710813 199903 1 003

2. Mengetahui

**Ketua Jurusan
Teknik Elektro**

**Ketua Program Studi
Teknik Elektro**

Khairudin. S.T., M.Sc., Ph.D.Eng.

NIP. 19700719 200012 1 001

Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.

NIP. 19740422 200012 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Osea Zebua, S.T., M.T.**



Sekretaris : **Herri Gusmedi, ST., M.T.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D.Eng.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D.

NIP. 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **30 November 2021**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Desember 2021



M. Harbi Rai Pangestu
NPM. 1715031042

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Lampung Utara, 11 Maret 1998. Penulis merupakan anak ke-2 dari 3 bersaudara dari pasangan Bapak Ai Wardana dan Ibu Ermawati. Penulis telah menempuh Pendidikan di TK Dharmawanita pada tahun 2003 hingga 2005, SDN Cibogo pada tahun 2005 hingga 2011, SMPN 1 Sukaraja pada tahun 2011 hingga 2014, kemudian SMAN 2 Tasikmalaya pada tahun 2014 hingga 2017.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Lampung, pada tahun 2017 melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Aktifitas penulis selain kuliah adalah penulis berkesempatan tergabung dalam keanggotaan asisten Laboratorium Sistem Tenaga Listrik pada tahun 2019. Selama menjadi asisten, penulis juga berkesempatan menjadi asisten mata kuliah Menggambar Teknik pada tahun 2019 hingga 2020, asisten mata kuliah Praktikum Analisa Sistem Tenaga pada tahun 2020, dan asisten mata kuliah Instalasi dan Penerangan pada tahun 2021. Penulis juga tergabung dalam Lembaga kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro (Himatro) sebagai Sekretaris Departemen Pendidikan dan Pengembangan Diri pada periode kepengurusan tahun 2018 serta sebagai Kepala Departemen Pendidikan dan Pengembangan Diri pada periode kepengurusan tahun 2019. Selain itu, penulis juga tergabung dalam UKM Silat Nasional Indonesia Perisai Diri, Universitas Lampung. Kemudian pada 27 Juli – 4 September tahun 2020, penulis melaksanakan kerja praktik di PT. PLN (Persero) ULTG Tarahan, UPT Tanjung Karang, dengan mengangkat judul kerja praktik “Pengujian Tahanan Kontak Pada Pemutus Tenaga Jenis *Three Pole* dengan Media Pemadam Busur Api Gas SF₆ di PT. PLN (Persero) P3B Sumatera UPT Tanjung Karang ULTG Tarahann Gardu Induk 150 kV Sutami”.



Alhamdulillah Puji dan Syukur Kehadirat Allah Subhanahu wata'ala atas Ridho-Nya

Karya ini kupersembahkan untuk

Bapak dan Mama tercinta

Ai Wardana dan Ermawati

Kakak dan Adik Tersayang

**Agung Nugraha Ramdhani
dan**

Ratining Kasih Kastama

Keluarga Besar, Dosen, Teman, dan Almamater

Motto

**Demi masa; Sesungguhnya manusia itu benar-benar berada
dalam kerugian; kecuali orang-orang yang beriman dan mengerjakan
amal saleh dan nasehat menasihati supaya mentaati kebenaran dan nasehat
menasehati supaya menetapi kebenaran.**

(Al ' Ashr 103)

**Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan;
Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan**

(Al Insyrah 94:5-6)

Maka nikmat Tuhan kamu yang manakah yang kamu dustakan?

(Ar Rahman 55)

Ya muqallibal quluub tsabbit qolbii'ala diinik

**(Wahai Dzat yang Maha membolak-balikkan hati, teguhkanlah hatiku
diatas agama-Mu)**

(SR. Tirmidzi; Ahmad)

Berdoa, Berusaha, Tawakal, dan Bersyukur; Allah Maha Adil

(Anonymous)

Percaya, Tau Diri, Jalanin

(Anonymous)

SANWACANA

Alhamdulillahirobbil'aalamiin. Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu wata'ala, atas nikmat, rahmat, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Tak lupa Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW, serta kepada keluarga-Nya, sahabat-Nya, dan juga kepada umat-Nya yang senantiasa taat kepada ajaran-Nya hingga kelak akhir zaman.

Skripsi ini dengan judul “Rekonfigurasi Jaringan Distribusi untuk Meminimalisasi Rugi-Rugi Daya dengan Menggunakan Metode *Grey Wolf Optimizer* (GWO)” merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Karomani, M.Si. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Khairudin, S.T., M.Sc., Ph. D.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung, dan selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, masukan, dan saran yang membangun kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini.
4. Bapak Osea Zebua, S.T., M.T. selaku pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan pandangan hidup kepada penulis di setiap kesempatan dengan baik dan ramah.
5. Bapak Herri Gusmedi, S.T., M.T. selaku pembimbing pendamping yang telah memberikan bimbingan, nasihat, semangat, dan motivasi kepada penulis di setiap kesempatan dengan baik dan ramah.

6. Ibu Umi Murdika, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik (PA) yang telah memberikan bimbingan, nasihat, arahan, semangat dan motivasi kepada penulis saat menempuh perkuliahan semester I hingga semester VI.
7. Ibu Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T. selaku dosen pembimbing akademik (PA) yang telah memberikan semangat, nasihat, bimbingan dan motivasi bagi penulis dalam mempersiapkan diri menjadi seorang Sarjana Teknik.
8. Segenap Dosen di Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik yang telah memberikan ilmu, wawasan, dan pengalaman yang bermanfaat bagi penulis.
9. Segenap Staff di Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik yang telah membantu penulis baik dalam hal administrasi dan hal-hal lainnya.
10. Bapak dan Mama tercinta, Ai Wardana dan Ermawati, yang tak terhingga atas jasa yang telah diberikan, motivasi, semangat dan doa dalam kehidupan bagi penulis; A Agung, Mba Nida dan Dek Kasih, yang telah memberikan dukungan, motivasi, semangat dan doa bagi penulis.
11. Segenap Keluarga Besar Laboratorium Sistem Tenaga Listrik; Pak Herri atas ilmu dan pengalaman kerja selama studi; Pak Rachman atas ilmu dan kerjasamanya selama studi; Kakak-kakak asisten Lab. STL 2014, 2015 dan 2016 atas ilmu yang telah diberikan, serta bantuan dan pengalamannya; Anak-anak Lab. STL 2017, Oca, Nopal, Yoel, Redho, Danar, Chan, Salwa atas semangat, kerjasama dan bantuannya selama berjuang bersama; Serta adik-adik asisten Azis, Adrian, Rehan, Syamil, Iqbal, Rizki, Ucok, Abdul, Tata, Nat, Adam, Adriyan, Fatur, Khairan, Mukhlas, Aqilla, Wira, Alhadi, Adi, Mirza, Dwi, dan Natasya.
12. Kak Rafi, Mba Desi, Mba Intan atas diskusi, bantuan dan motivasinya bagi penulis dalam pengerjaan skripsi; Serta partner tugas akhir Chantika dan Kasman, atas diskusi dan kerjasamanya selama pengerjaan skripsi.
13. Segenap Keluarga Besar UKM Silat Nasional Indonesia Perisai Diri Universitas Lampung, Pak Lukman, Pak Meizano, Pak Heri, Mas Aji, Kak Bli Nyoman, Kak Fandi, Kak Fitra, Kak Deka, Kak Arya, Kak Manda, Kak Jo, Redho, Melisa, Diana, dan seterusnya.

14. Keluarga Budiman; Ilham, Malik, Riyan, Willy, Ogy, Bagas, Alip, Allviando, Danar, dll. Terima kasih atas segalanya yang telah mengisi hari-hari bersama di kontrakan.
15. Segenap keluarga besar Himatro yang telah mengajarkan arti organisasi, keluarga dan banyak hal selama penulis menempuh perkuliahan. Luar Biasa!
16. Keluarga Besar Hiro'17, atas bantuan, kebersamaan, dan sebagai rumah setelah Himatro selama penulis menjalani perkuliahan.
17. Fia, atas bantuan, doa dan semangatnya.
18. Kakak-kakak dan adik-adik tingkat di Jurusan Teknik Elektro, serta seluruh teman-teman yang terlibat langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran konstruktif dari semua pihak demi kemajuan bersama. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca khususnya, dan bagi semua pada umumnya.

Bandar Lampung, 16 Desember 2021

M. Harbi Rai Pangestu

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xviii
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Perumusan Masalah	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Hipotesis	3
1.7. Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sistem Distribusi.....	5
2.2 Jaringan Distribusi Radial.....	6
2.2.1 Jaringan Distribusi Radial Pohon.....	7
2.2.2 Jaringan Distribusi Radial dengan <i>Tie Switch</i>	7
2.2.3 Jaringan Distribusi Radial dengan Pusat Beban.....	8
2.2.4 Jaringan Distribusi Radial dengan Pembagian Fasa Area.....	9
2.3 Aliran Daya.....	10
2.4 Rekonfigurasi Jaringan	13
2.5 Grey Wolf Optimizer (GWO).....	14
2.6 Pemodelan Matematika Metode <i>Grey Wolf Optimizer</i>	16
2.6.1 <i>Encircling Prey</i>	16

2.6.2	<i>Hunting</i>	17
2.6.3	<i>Attacking Prey</i>	18
III.	METODE PENELITIAN	19
3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian.....	19
3.2.	Alat dan Bahan Penelitian.....	20
3.3.	Tahapan Penelitian.....	20
3.4.	Diagram Alir Penelitian	21
3.5.	Diagram Alir Metode <i>Grey Wolf Optimizer</i> (GWO)	22
3.6.	Simulasi Rekonfigurasi Menggunakan Metode GWO	23
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1	Skenario Simulasi	26
4.2	Hasil Simulasi Sistem Standar 33-Bus	28
4.2.1	Hasil Simulasi Sebelum Rekonfigurasi.....	28
4.2.2	Hasil Simulasi Setelah Rekonfigurasi	30
4.2.3	Perbandingan Hasil Simulasi	33
4.3	Hasil Simulasi Sistem Standar 69-Bus	38
4.3.1	Hasil Simulasi Sebelum Rekonfigurasi.....	38
4.3.2	Hasil Simulasi Setelah Rekonfigurasi	40
4.3.3	Perbandingan Hasil Simulasi	44
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1	Kesimpulan	49
5.2	Saran	49
	DAFTAR PUSTAKA	51
	LAMPIRAN.....	53

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Skema Sistem Distribusi	6
Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Radial Pohon	7
Gambar 2.3 Jaringan Distribusi Radial <i>Tie Switch</i>	8
Gambar 2.4 Jaringan Distribusi Radial dengan Pusat Beban	8
Gambar 2.5 Jaringan Distribusi Radial dengan Pembagian Fasa Area	9
Gambar 2.6 Skema Konfigurasi Jaringan <i>IEEE case 33-Bus System</i>	13
Gambar 2.7 Hierarki <i>Grey Wolf</i>	15
Gambar 2.8 Pembaharuan posisi GWO	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3.2 Diagram Alir Metode <i>Grey Wolf Optimizer (GWO)</i>	22
Gambar 4.1 Sistem standar IEEE 33-bus (<i>base system</i>)	26
Gambar 4.2 Sistem standar IEEE 69-bus (<i>base system</i>)	27
Gambar 4.3 Profil tegangan sistem standar IEEE 33-bus sebelum rekonfigurasi (<i>base system</i>)	29
Gambar 4.4 Sistem standar IEEE 33-bus dengan <i>tie switch</i>	30
Gambar 4.5 Sistem standar IEEE 33-bus setelah rekonfigurasi	31
Gambar 4.6 Profil tegangan sistem standar IEEE 33-bus setelah rekonfigurasi...	33
Gambar 4.7 Grafik profil tegangan antara sebelum dan setelah rekonfigurasi	34
Gambar 4.8 Grafik Konvergensi percobaan ke-5 sistem standar IEEE 33-bus menggunakan metode GWO	35
Gambar 4.9 Sistem standar IEEE 33-bus dengan konfigurasi baru	37
Gambar 4.10 Profil tegangan sistem standar IEEE 69-bus sebelum rekonfigurasi	39
Gambar 4.11 Sistem standar IEEE 69-bus dengan <i>tie switch</i>	40

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Waktu Penelitian	19
Tabel 3.2 <i>Loop</i> atau dimensi ruang pencarian kasus sistem standar IEEE 33-bus	23
Tabel 3.3 <i>Loop</i> atau dimensi ruang pencarian kasus sistem standar IEEE 33-bus	23
Tabel 3.4 Parameter Metode GWO.....	24
Tabel 4.1 Tegangan bus sistem standar IEEE 33-bus sebelum rekonfigurasi	28
Tabel 4.2 Tegangan bus sistem standar IEEE 33-bus setelah rekonfigurasi.....	32
Tabel 4.3 Perbandingan hasil simulasi antara sebelum dan setelah rekonfigurasi	34
Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Simulasi Metode <i>Grey Wolf Optimizer</i> dengan Metode Lain	36
Tabel 4.5 Tegangan bus sistem standar IEEE 69-bus sebelum rekonfigurasi	38
Tabel 4.6 Tegangan bus sistem standar IEEE 69-bus setelah rekonfigurasi.....	42
Tabel 4.7 Perbandingan hasil simulasi antara sebelum dan setelah rekonfigurasi	44
Tabel 4.8 Perbandingan Hasil Simulasi Metode <i>Grey Wolf Optimizer</i> dengan Metode Lain	46

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan bertambahnya jumlah konsumen terhadap kebutuhan tenaga listrik, maka beban listrik akan semakin meningkat. Namun, apabila peningkatan beban pada suatu sistem tidak diikuti oleh bertambahnya jumlah pembangkit tenaga listrik maupun dengan konfigurasi sistem yang baru, maka hal tersebut dapat menyebabkan daya pada proses penyaluran tenaga listrik mengalami rugi-rugi yang besar sehingga kualitas daya yang tersalurkan menjadi kurang optimal, serta dapat menyebabkan ketidak setimbangan beban, dan berkurangnya profil tegangan pada suatu jaringan dari batas yang semestinya. Oleh karena itu, sangat penting untuk memperbaiki kualitas daya pada suatu sistem tenaga dengan melakukan rekonfigurasi terhadap jaringan yang memiliki tujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya dan memperbaiki profil tegangan yang terjadi pada sistem terutama pada sistem distribusi. Akan tetapi, proses rekonfigurasi yang tidak tepat justru akan menyebabkan rugi-rugi daya pada sistem menjadi lebih besar dari sebelumnya.

Rekonfigurasi jaringan pada jaringan distribusi merupakan proses atau usaha untuk mengubah status beberapa sakelar pada saluran yang berupa penghubung (*sectionalizing switch*) yang menghubungkan antara trafo distribusi yang satu dengan yang lainnya. Dengan merencanakan suatu kabel penghubung baru yang akan diubah statusnya menjadi tidak terhubung/dilepas (*tie switch*) antar trafo distribusi sehingga didapatkan konfigurasi jaringan yang baru dengan rugi-rugi daya yang minimal [1]. Selain itu, rekonfigurasi berfungsi untuk menjaga keandalan sistem, restorasi untuk pemeliharaan dan mencegah ketidakseimbangan beban.

Pada penelitian ini, akan dilakukan analisa rekonfigurasi jaringan distribusi dengan menggunakan metode optimasi *Grey Wolf Optimizer* yang diharapkan dapat

mencari dan menentukan kabel saluran atau *switch* untuk membuka ataupun menutup saluran pada suatu penyulang atau bus yang saling terhubung secara radial dengan tepat dan optimal sehingga dapat meminimalisasi rugi-rugi daya pada sistem distribusi.

Penyelesaian permasalahan rekonfigurasi jaringan telah berhasil dilakukan dengan menggunakan beberapa metode optimasi pada penelitian sebelumnya. Beberapa metode yang telah digunakan yaitu, antara lain:

- *Optimal Reconfiguration of Radial Distribution Networks using Improved Genetic Algorithm* oleh A. S. Abubakar (2019) [2].
- *Power Loss Minimization In Distribution System Using Network Reconfiguration With Particle Swarm Optimization* oleh Patteti Prasad (2015) [3].
- *Optimization Of Distribution Network Reconfiguration Using Dragonfly Algorithm* oleh A. V. Sudhakara Reddy (2016) [4].

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Grey Wolf Optimizer* (GWO). GWO merupakan salah satu metode yang ditemukan oleh Seyedali Mirjalili pada tahun 2014, metode ini meniru perilaku perburuan oleh sekumpulan serigala abu-abu dalam mencari mangsa [5]. Beberapa penelitian sebelumnya yang menggunakan metode ini, antara lain:

- *Optimal Reactive Power Dispatch Untuk Meminimisasi Rugi–Rugi Daya Aktif Pada Sistem Lampung Menggunakan Metode Grey Wolf Optimizer* oleh Osea Zebua dan I Made Ginarsa (2017) [6].
- *Penyelesaian Economic Dispatch Menggunakan Metode Grey Wolf Optimizer* oleh Desi Prima (2020) [7].

Berdasarkan permasalahan dan metode-metode yang telah disebutkan tersebut, penulis mencoba menerapkan metode *Grey Wolf Optimizer* (GWO) dalam menyelesaikan permasalahan rekonfigurasi jaringan distribusi untuk meminimalisasi rugi-rugi daya pada studi kasus standar IEEE *case 33-bus system* dan *case 69-bus system*.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang konfigurasi *tie switch* yang optimal pada jaringan distribusi dengan menggunakan metode *Grey Wolf Optimizer* (GWO).
2. Menganalisa dan membandingkan hasil simulasi antara *base system* dan setelah dilakukan rekonfigurasi sehingga didapatkan nilai rugi-rugi daya minimal pada sistem distribusi.

1.3. Perumusan Masalah

Permasalahan dari penelitian ini adalah menentukan rekonfigurasi jaringan yang tepat agar dapat meminimalisasi rugi-rugi daya secara optimal pada sistem distribusi dengan menggunakan metode *Grey Wolf Optimizer* (GWO).

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem diasumsikan dalam keadaan *steady state*.
2. Tidak membahas mengenai keandalan, gangguan dan transien pada sistem.
3. Rekonfigurasi dilakukan terhadap 1 penyulang.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan suatu bahan kajian dalam menyelesaikan masalah rekonfigurasi jaringan distribusi.
2. Memahami tentang Teknik optimasi dengan menerapkan metode *Grey Wolf Optimizer* (GWO) dalam sistem tenaga listrik, terutama pada jaringan sistem distribusi.
3. Menjadi acuan bagi mahasiswa lain dalam menyempurnakan tugas akhir ini.

1.6. Hipotesis

Dengan menerapkan metode optimasi *Grey Wolf Optimizer* (GWO) pada rekonfigurasi jaringan distribusi, akan didapatkan suatu nilai rekonfigurasi jaringan yang optimal sehingga dapat meminimalisasi rugi-rugi daya pada sistem distribusi.

1.7. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan pada penelitian ini untuk memberikan suatu gambaran sederhana mengenai pembahasan tugas akhir serta untuk memudahkan pemahaman materi pada penelitian ini yang dituliskan menjadi beberapa bab, adalah sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang masalah, tujuan penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis serta sistematika penulisan pada penelitian ini

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang teori pendukung yang menjadi pengantar pemahaman dan berkaitan dengan materi penelitian yang diambil dari berbagai sumber ilmiah seperti buku dan jurnal.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memaparkan metodologi penelitian antara lain waktu dan tempat pengerjaan, alat dan bahan yang digunakan dalam pengerjaan penelitian, serta metode dan diagram penelitian yang akan digunakan dalam pengerjaan penelitian tugas akhir.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil dan menganalisa hasil data yang didapatkan dari simulasi yang telah dilakukan pada penelitian tugas akhir.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang didapatkan dari hasil analisa dan pembahasan serta saran yang dapat diberikan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan salah satu komponen sistem tenaga listrik. Sistem distribusi berguna sebagai penghubung untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber pembangkit sampai ke konsumen setelah melalui sistem transmisi. Fungsi dari sistem distribusi adalah sebagai penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat konsumen (pelanggan) setelah tegangan diturunkan dari sistem transmisi dan juga merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Setelah tegangan diturunkan menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk, kemudian dengan *range* tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilanjutkan menuju saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer, listrik dapat langsung melayani konsumen tegangan menengah seperti industri-industri besar, atau tegangan diturunkan kembali menggunakan trafo distribusi menjadi tegangan rendah yang menuju saluran distribusi sekunder, yaitu 20 kV/380 Volt kemudian disalurkan oleh saluran distribusi sekunder sampai ke konsumen tegangan rendah (rumah-rumah). Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan salah satu bagian yang penting dalam proses penyaluran sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

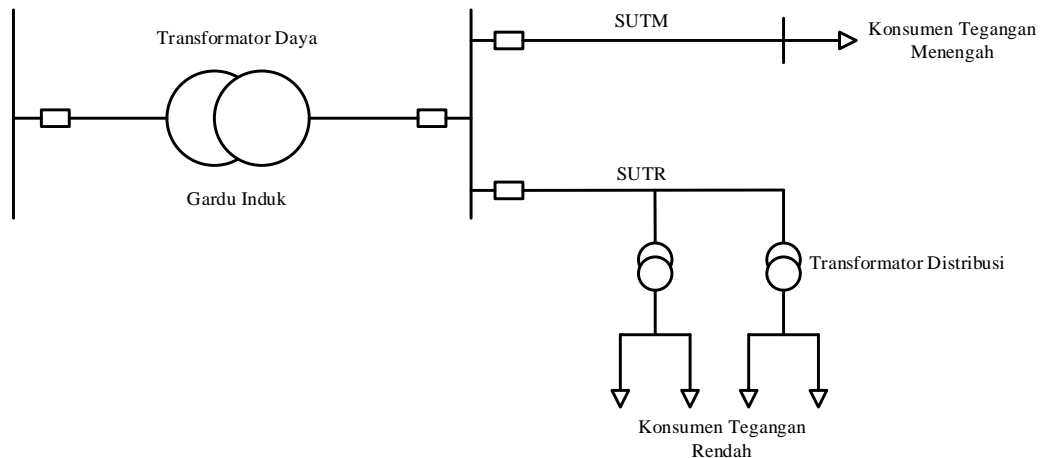
Secara umum, bagian-bagian dari jaringan sistem distribusi adalah sebagai berikut.

- Jaringan distribusi primer

Jaringan distribusi primer yaitu jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu induk sub transmisi ke gardu induk distribusi. Jaringan ini merupakan jaringan tegangan menengah atau sistem distribusi primer.

- Jaringan distribusi sekunder

Jaringan distribusi sekunder atau juga merupakan jaringan tegangan rendah. Jaringan ini menyalurkan daya listrik dari gardu distribusi ke konsumen.



Gambar 2.1 Skema Sistem Distribusi

2.2 Jaringan Distribusi Radial

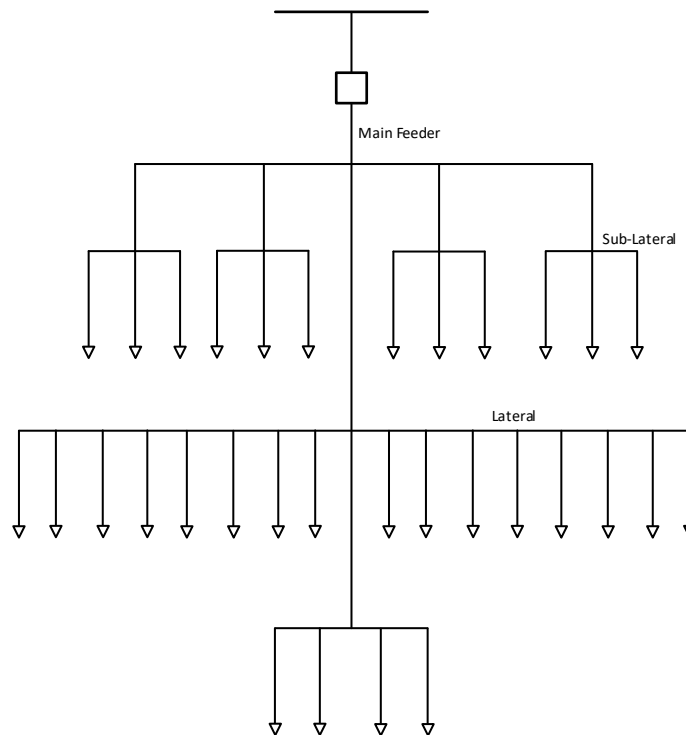
Jaringan distribusi radial merupakan salah satu model atau bentuk sistem pada jaringan distribusi yang umum digunakan karena lebih sederhana dan ekonomis. Sistem radial ini memiliki beberapa kabel penghubung yang berperan sebagai *switch* dan dapat berubah statusnya apabila diperlukan yaitu *tie switch* dan *sectionalizing switch* yang menghubungkan antara satu trafo distribusi dengan yang lainnya. Hal ini dimaksudkan agar dapat memperbaiki kualitas pelayanan dengan melakukan rekonfigurasi pada jaringan distribusi tersebut [8].

Pada jaringan sistem distribusi radial terdapat satu sumber jaringan. Kemudian dari sumber tersebut, sistem melayani banyak beban yang melalui percabangan atau penyulang pada saluran, sehingga arus yang mengalir pada setiap beban tersebut menjadi tidak sama. Selain itu hanya terdapat satu saluran utama yang menghubungkan sumber dengan beban, jika terjadi gangguan pada saluran utama tersebut maka seluruh sistem setelahnya akan padam dan gangguan tersebut akan menyebabkan pemadaman pada daerah yang disuplai energi listrik [9]. Oleh karena itu, kelemahan sistem distribusi radial adalah pada keandalan sistem.

Terdapat beberapa bentuk lain dari sistem jaringan distribusi radial, yaitu:

1. Jaringan distribusi radial pohon
2. Jaringan distribusi radial dengan *tie switch*
3. Jaringan distribusi radial dengan pusat beban
4. Jaringan distribusi radial dengan pembagian fasa area

2.2.1 Jaringan Distribusi Radial Pohon



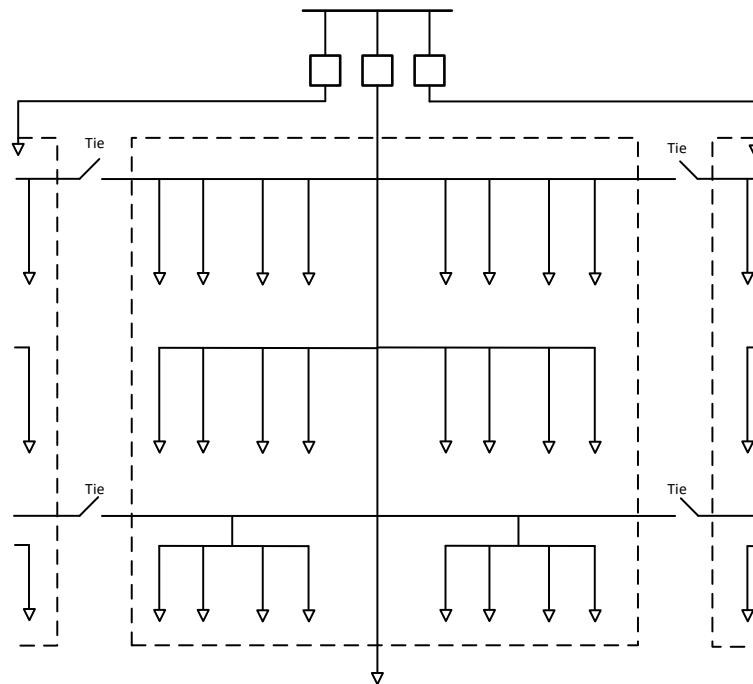
Gambar 2. 2 Jaringan Distribusi Radial Pohon

Model sistem radial tipe pohon merupakan bentuk yang paling dasar dari jaringan sistem radial. Model ini terdiri dari satu saluran utama yang berasal dari gardu induk, kemudian saluran utama tersebut terbagi melalui percabangan menjadi beberapa saluran (Lateral dan Sub-Lateral) sesuai jumlah beban yang dibutuhkan.

2.2.2 Jaringan Distribusi Radial dengan *Tie Switch*

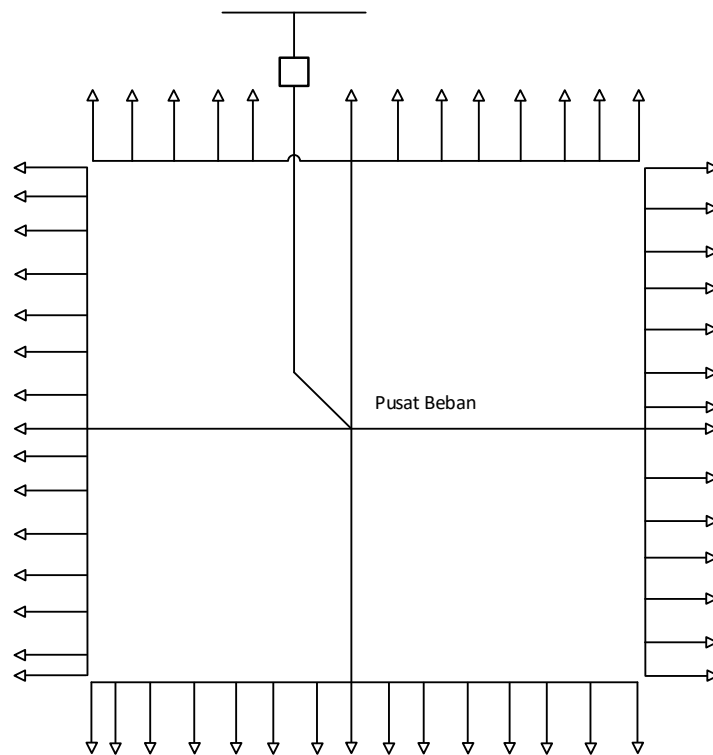
Model sistem radial tipe *tie switch* ini merupakan pengembangan dari bentuk dasar sistem distribusi radial, yaitu dengan menambahkan kabel penghubung *tie switch* pada beberapa simpul saluran. *Switch* ini bertujuan untuk memperbaiki serta meningkatkan dan menjaga keandalan sistem. Sistem radial tipe ini mudah dalam pengontrolan sistem ketika melakukan pemeliharaan ataupun perbaikan saat terjadi gangguan. Jika terjadi gangguan pada salah satu penyulang atau saluran maka akan

dengan mudah melokalisir dan mengalihkan ke penyulang atau saluran yang normal.



Gambar 2. 3 Jaringan Distribusi Radial *Tie Switch*

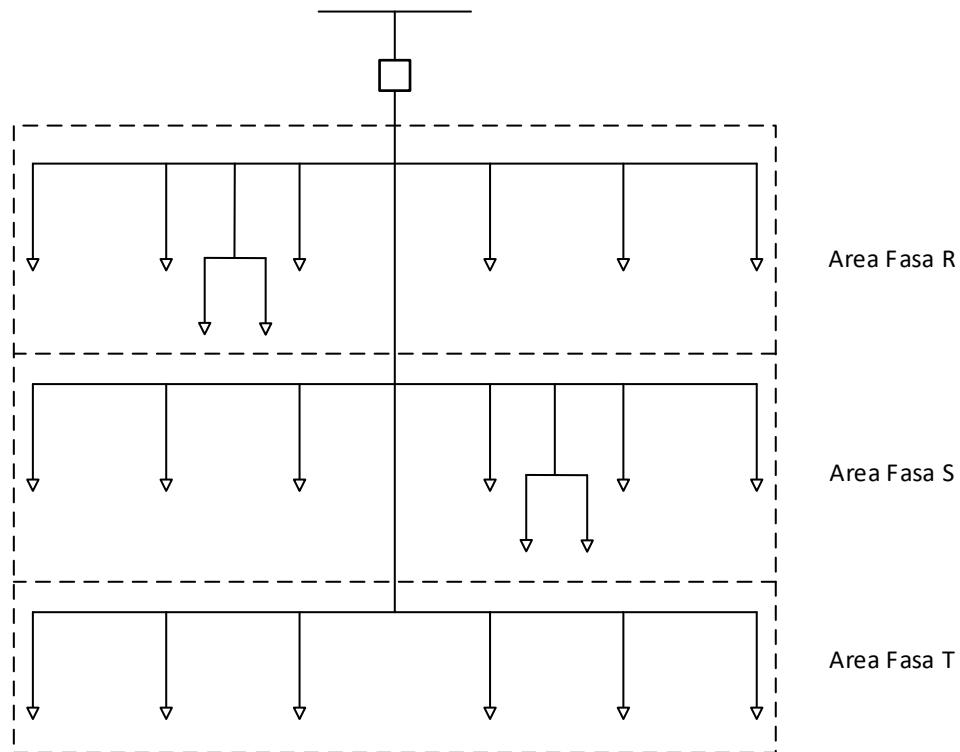
2.2.3 Jaringan Distribusi Radial dengan Pusat Beban



Gambar 2. 4 Jaringan Distribusi Radial dengan Pusat Beban

Model sistem radial dengan pusat beban merupakan salah satu bentuk sistem jaringan radial yang beroperasi dengan saluran utama menyuplai daya langsung ke pusat beban, kemudian dari pusat beban tersebut daya disebar ke titik ujung beban secara radial.

2.2.4 Jaringan Distribusi Radial dengan Pembagian Fasa Area



Gambar 2. 5 Jaringan Distribusi Radial dengan Pembagian Fasa Area

Model sistem radial tipe ini merupakan bentuk sistem jaringan radial yang melakukan pembagian beban pada setiap fasa dan memiliki areanya masing-masing. Sistem ini dapat menyebabkan sistem 3 fasa menjadi tidak seimbang karena kondisi beban pada setiap fasa yang tidak seimbang. Maka, sistem radial tipe ini lebih direkomendasikan pada sistem dengan pembebanan yang seimbang dan meskipun terdapat penambahan beban dikemudian hari dapat dengan mudah melakukan pembagian beban ulang.

2.3 Aliran Daya

Pada analisa aliran daya suatu sistem tenaga listrik menghasilkan persamaan *non linier* sehingga memerlukan suatu teknik iterasi untuk menyelesaikannya. Hasil dari perhitungan memperoleh daya aktif dan daya reaktif suatu jaringan. Salah satu metode yang digunakan dalam analisa aliran daya adalah metode Newton-Raphson. Metode Newton-Raphson menyelesaikan masalah aliran daya dengan menggunakan suatu persamaan *non linier* untuk menghitung besarnya tegangan dan sudut fasa tegangan setiap bus. Metode Newton Raphson adalah metode yang efisien dalam menyelesaikan persamaan nonlinear. Metode ini dapat mengubah proses penyelesaian persamaan *non linier* ke bentuk proses persamaan *linier*. Proses linearisasi tersebut merupakan inti dari metode Newton Raphson.

Berikut langkah-langkah dalam menyelesaikan analisis aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson [10]:

- Membentuk impedansi jaringan Z_{ij} .

$$Z_{ij} = R_{ij} + jX_{ij} \quad (2.1)$$

- Membentuk admitansi jaringan Y_{ij} .

$$Y_{ij} = Y_{rij} + Y_{xij} \quad (2.2)$$

Daya aktif dan daya reaktif pada bus i adalah:

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.3)$$

Atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.4)$$

Arus yang masuk ke bus i dapat ditulis dalam bentuk polar seperti persamaan berikut:

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.5)$$

Daya kompleks pada bus i adalah:

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (2.6)$$

Sehingga persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk polar menjadi:

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.7)$$

Daya aktif dan daya reaktif dapat dicari dengan:

$$P_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| |V_i| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.8)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| |V_i| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.9)$$

Dimana,

P_i = daya aktif pada bus i

Q_i = daya reaktif pada bus i

V_i, δ_i = magnitude tegangan dan fasa pada bus i

V_j, δ_j = magnitude tegangan dan fasa pada bus j

Y_{ij}, θ_{ij} = magnitude dan sudut fasa pada elemen matriks $[Y]$

- Membentuk matriks jacobian yang dapat disederhanakan menjadi

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V/V \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Diagonal elemen H adalah:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |Y_{ij}| |V_j| |V_i| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.11)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|Y_{ij}| |V_j| |V_i| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.12)$$

Diagonal elemen N adalah:

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |Y_{ij}| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |Y_{ij}| |V_i| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.14)$$

Diagonal elemen J adalah:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |Y_{ij}| |V_j| |V_i| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|Y_{ij}| |V_j| |V_i| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.16)$$

Diagonal elemen L adalah:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -2|V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} - \sum_{j \neq i} |Y_{ij}| |V_j| |V_i| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|Y_{ij}||V_i|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.18)$$

Setelah didapatkan semua nilai dari setiap elemen pada submatriks, kemudian membentuk matriks jacobian dengan menggabungkan setiap elemen dari submatriks dan selanjutnya membentuk invers matriks jacobian $[Jacobian]^{-1}$, maka dapat diperoleh nilai untuk $\Delta\delta_i$ dan $\Delta \left| \frac{\Delta|V_i|}{|V_i|} \right|$

$$\Delta\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)} \quad (2.19)$$

$$|V_i|^{(k+1)} = |V_i|^{(1)} + \Delta|V_i|^{(k)} = |V_i|^{(k)} \left| \frac{\Delta|V_i|^{(k)}}{|V_i|^{(k)}} \right| \quad (2.20)$$

- Menghitung aliran daya

Persamaan untuk menghitung aliran daya antar bus adalah sebagai berikut:

$$S_{ij} = V_i(V_{ij}^*Y_{ij}^*) + V_i^*Y_{cij}^* \quad (2.21)$$

dan

$$P_{ij} - jQ_{ij} = V_i^*(V_i - V_j)Y_{ij} + V_i^*V_iY_{cij}^* \quad (2.22)$$

Dimana,

S_{ij}	=	aliran daya kompleks dari bus i ke bus j
P_{ij}	=	aliran daya aktif dari bus i ke bus j
Q_{ij}	=	aliran daya reaktif dari bus i ke bus j
V_i	=	tegangan bus i
V_j	=	tegangan bus j
V_{ij}	=	tegangan bus vektor antara bus i dan bus j
Y_{ij}	=	admitansi antara bus i dan bus j
Y_{cij}	=	admitansi bus <i>charging</i> antara bus i dan bus j

Persamaan rugi-rugi daya antar bus:

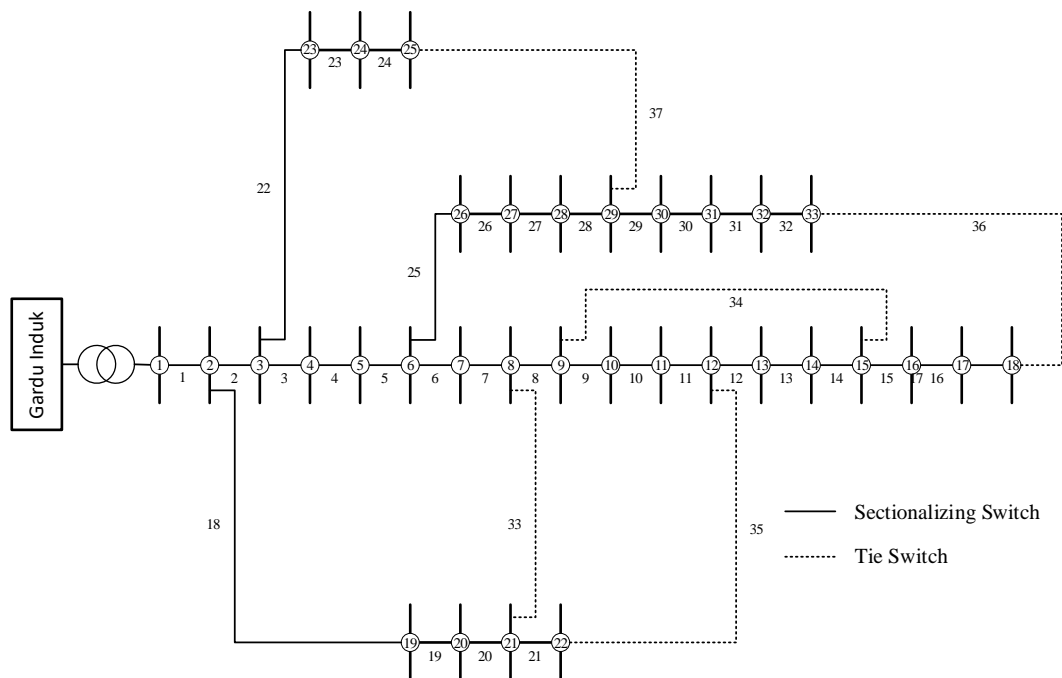
$$S_{ij(loss)} = S_{ij} + S_{ji} \quad (2.23)$$

Dimana,

$S_{ij(loss)}$	=	rugi-rugi daya kompleks dari bus i ke bus j
S_{ij}	=	daya kompleks dari bus i ke bus j
S_{ji}	=	daya kompleks dari bus j ke bus i

2.4 Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi jaringan adalah proses atau usaha untuk mengubah status kabel penghubung yang berperan sebagai sakelar (*sectionalizing switch*) pada suatu konfigurasi jaringan distribusi yang sudah ada dengan bentuk atau konfigurasi dengan posisi sakelar yang baru dengan tujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya, memperbaiki ketidaksetimbangan beban, dan mengurangi kelebihan beban pada jaringan tanpa menimbulkan akibat yang beresiko pada operasi dan bentuk sistem jaringan distribusi secara keseluruhan [1]. Rekonfigurasi dilakukan dengan mengubah status kabel penghubung menjadi membuka atau menutup *sectionalizing switch* dan *tie switch* pada saluran. Penyulang-penyulang pada jaringan distribusi pada umumnya memiliki struktur jaringan tipe radial karena lebih murah serta lebih mudah dalam pengoperasiannya [11].



Gambar 2. 6 Skema Konfigurasi Jaringan *IEEE case 33-Bus System*.

Pada jaringan distribusi radial, rugi-rugi total satu penyulang dapat juga dinyatakan dengan:

$$P_{totalrugi} = \sum_{i=1}^n P_{rugi}(i, i + 1) \quad (2.24)$$

Dimana:

$P_{rugi}(i, i + 1)$ = rugi-rugi satu bagian saluran dari bus i dan bus $i + 1$.

Rugi saluran tersebut dapat dicari dengan persamaan:

$$P_{rugi}(i, i + 1) = R_{i,i+1} \frac{P_i^2 + Q_i^2}{|V_i|^2} \quad (2.25)$$

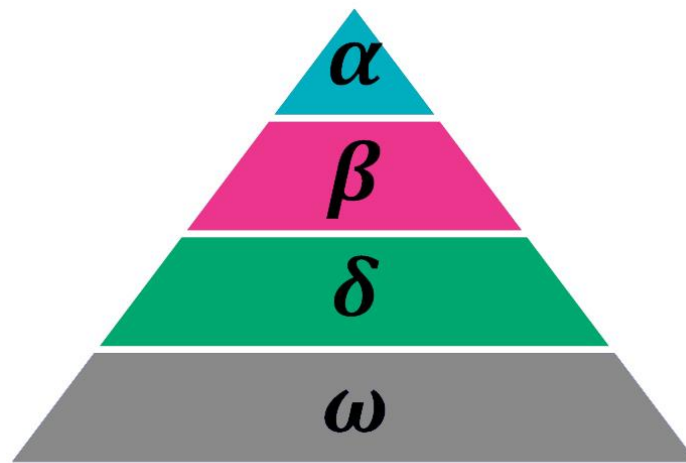
Fungsi objektif yang digunakan merupakan hasil dari perhitungan aliran daya. Sehingga fungsi objektif untuk permasalahan rekonfigurasi, dirumuskan menjadi:

$$\min(P_{totalrugi}). \quad (2.26)$$

2.5 Grey Wolf Optimizer (GWO)

Metode optimasi *Grey Wolf Optimizer* (GWO) merupakan salah satu metode optimasi metaheuristik yang ditemukan oleh Seyedali Mirjalili pada tahun 2014 [5]. Teknik optimasi metaheuristik merupakan salah satu metode penyelesaian yang menggunakan konsep pendekatan dalam mencari solusi yang paling optimal dari suatu permasalahan [7]. Metaheuristik menjadi metode optimasi yang sangat populer dan sangat umum untuk digunakan karena metaheuristik memiliki 4 alasan utama yang meliputi: sederhana (*simplicity*), fleksibel (*flexibility*), mekanisme bebas derivasi (*derivation-free mechanism*), dan dapat keluar dari titik optima local (*local optima avoidance*). Hampir semua metode metaheuristik terinspirasi dari konsep yang sederhana yaitu dari berbagai hal yang berhubungan dengan fenomena alam, evolusi dan tingkah laku hewan. Fleksibilitas metode metaheuristik dapat dilihat dari banyaknya pengaplikasian yang dapat menyelesaikan setiap permasalahan yang berbeda-beda. Selain itu metaheuristik memiliki mekanisme yang bebas derivasi. Metaheuristik dapat mengoptimasi permasalahan stokastik. Proses optimasi dimulai dengan solusi acak dan tidak memerlukan perhitungan terhadap turunan dari suatu ruang pencarian untuk menemukan solusi optimal. Hal tersebut membuat metaheuristik sangat sesuai untuk permasalahan yang nyata. Selain itu metaheuristik memiliki kemampuan untuk dapat keluar dari titik optimalisasi lokal dan melakukan pencarian di ruang solusi untuk menemukan solusi global dibandingkan dengan teknik optimasi konvensional [5].

Grey Wolf Optimizer (GWO) merupakan metode optimasi berbasis *swarm intelligence* yang terinspirasi dari tingkah laku atau hierarki sosial dan mekanisme perburuan dari sekumpulan serigala abu-abu (*Grey Wolf*) dalam mencari mangsa. Hierarki sosial serigala abu-abu tersebut terbagi menjadi 4 kategori dan dimulai dari hierarki teratas yaitu alfa, beta, delta dan omega. Hierarki ini mempengaruhi terhadap pengambilan keputusan akhir dalam perburuan. Metode *Grey Wolf Optimizer* memiliki kelebihan dibandingkan dengan metode lain yaitu lebih cepat dalam mencapai nilai konvergen dan mendapatkan hasil yang kualitatif [12].



Gambar 2. 7 Hierarki *Grey Wolf*

- Alfa (α) merupakan pemimpin dalam kelompok, yang bertanggung jawab terhadap pengambilan keputusan
- Beta (β) adalah hierarki kedua dalam tingkatan yang merupakan serigala yang membantu alfa dalam pengambilan keputusan. Serigala beta juga merupakan kandidat terbaik sebagai pengganti alfa.
- Tingkatan selanjutnya dalam hierarki adalah Delta (δ). Serigala ini merupakan bawahan dari alfa dan beta yang bertanggung jawab untuk melaporkan keadaan kelompok kepada keduanya dan juga membantu perburuan, namun juga mendominasi terhadap omega (ω).
- Omega (ω) merupakan tingkatan terendah dari hierarki sosial serigala abu-abu. Serigala omega merupakan kambing hitam dalam kelompok.

Langkah penyelesaian dalam teknik optimasi GWO adalah menirukan mekanisme perburuan yang dilakukan oleh sekumpulan serigala tersebut yang berdasarkan pada hierarki sosialnya. Mekanisme perburuan tersebut meliputi pencarian mangsa (*searching prey*), pengepungan mangsa (*encircling prey*), dan penyerangan mangsa (*attacking prey*). Pada tahap pencarian mangsa sekumpulan serigala tersebut akan melacak, mengejar, dan mendekati mangsanya. Kemudian mereka akan mengejar, mengepung, sehingga mangsanya berhenti bergerak. Setelah itu para serigala tersebut akan menyerang mangsanya.

2.6 Pemodelan Matematika Metode Grey Wolf Optimizer

Berdasarkan hierarki sosial dari serigala abu-abu bahwa dimulai dari tingkatan teratas yaitu serigala alfa (α) yang menjadi solusi penyelesaian terbaik, kemudian serigala beta (β) yang merupakan solusi terbaik kedua, dan serigala delta (δ) yang dikategorikan sebagai solusi terbaik ketiga. Lalu solusi atau penyelesaian selebihnya merupakan serigala omega (ω). Hierarki sosial ini mempengaruhi pengambilan keputusan (penyelesaian) akhir.

2.6.1 Encircling Prey

Ketika serigala abu-abu mendekati mangsanya, mereka cenderung melingkari mangsa tersebut dan mengepungnya sehingga mangsa tidak dapat bergerak. Perilaku tersebut dapat digambarkan menjadi persamaan:

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t)| \quad (2.26)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (2.27)$$

Dimana:

- \vec{D} = jarak serigala dengan mangsa
- t = iterasi saat ini
- \vec{X} = vektor posisi serigala
- \vec{X}_p = vektor posisi mangsa dari serigala
- \vec{A} dan \vec{C} = koefisien vektor

Koefisien vektor \vec{A} dan \vec{C} berikut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (2.28)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r}_2 \quad (2.29)$$

Dimana:

\vec{r}_1 dan \vec{r}_2 = vektor acak antara 0 dan 1

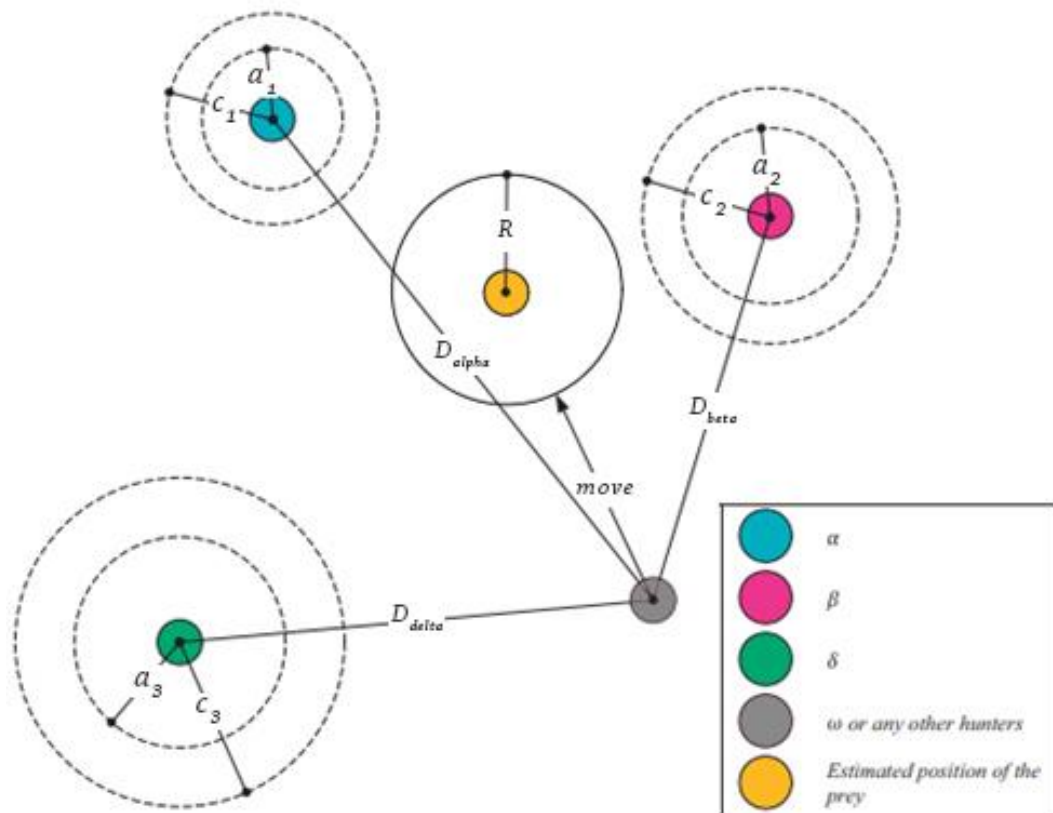
\vec{a} = nilai yang berkurang dari 2 ke 0 pada setiap iterasi

Nilai \vec{a} dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$\vec{a} = 2 - t \frac{2}{tmax} \quad (2.30)$$

2.6.2 Hunting

Pada perilaku perburuan, tiga solusi (penyelesaian) disimpan dan kemudian memperbaharui posisi ruang pencarian (termasuk omega) sesuai dengan iterasi saat ini.



Gambar 2. 8 Pembaharuan posisi GWO

Perilaku ini digambarkan dengan persamaan:

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_\alpha - \vec{X}(t)| \quad (2.31)$$

$$\vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X}(t)| \quad (2.32)$$

$$\vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X}(t)| \quad (2.33)$$

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \cdot (\vec{D}_\alpha) \quad (2.34)$$

$$\vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot (\vec{D}_\beta) \quad (2.35)$$

$$\vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot (\vec{D}_\delta) \quad (2.36)$$

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3} \quad (2.37)$$

2.6.3 Attacking Prey

Ketika mangsa sudah tidak dapat bergerak, maka serigala abu-abu menyelesaikan perburuannya dengan menyerang mangsa. Perilaku ini dapat digambarkan dengan persamaan matematis mendekati mangsa dimana berkurangnya nilai \vec{a} . \vec{A} merupakan nilai acak pada selang interval $[-2a, 2a]$ dimana a yaitu suatu nilai yang berkurang dari 2 ke 0 selama iterasi. Ketika nilai acak \vec{A} dalam selang interval $[-1, 1]$, *search agent* dapat menempati posisi dimana saja yaitu antara posisi saat ini dengan posisi keberadaan mangsa. Saat $|A| < 1$ atau $|A| > -1$ maka serigala dapat menyerang mangsanya.

Metode penyelesaian *Grey Wolf Optimizer* (GWO) dalam permasalahan rekonfigurasi jaringan adalah dengan membentuk matriks populasi dengan baris menyatakan jumlah serigala abu-abu sebagai *search agent* dan kolom menyatakan jumlah dimensi *variable control*. Nilai posisi (*variabel kontrol*) dari setiap *search agent* pada setiap iterasi dievaluasi untuk memperoleh nilai fungsi objektif (*fitness*), yaitu meminimalisasi rugi-rugi daya dan tiga nilai *fitness* terbaik disimpan sebagai nilai skor, antara lain *alpha score*, *beta score*, dan *delta score*. Posisi dari setiap *search agent* diperbaharui pada setiap iterasi selanjutnya. Hal tersebut dilakukan sampai nilai iterasi maksimum didapatkan dan menampilkan nilai *fitness* terbaik serta posisinya [11].

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan pada bulan November 2020-September 2021, di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Dengan waktu penelitian yang akan dilakukan seperti ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

[illegible]

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Satu unit laptop dengan sistem operasi windows 10 64-bit *intel core i3* sebagai media perancangan dan simulasi.
2. MATLAB R2019a [13] sebagai perangkat lunak untuk pembuatan dan simulasi program.
3. *Toolbox* Matpower 6.0 [14] sebagai perangkat lunak untuk perhitungan aliran daya.
4. Data standar IEEE *case 33-bus system* dan *case 69-bus system*.

3.3. Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahap ini yaitu mencari, mempelajari, serta memahami materi dari berbagai literatur yang berkaitan dengan penelitian pada tugas akhir ini. Materi dan literatur yang dipelajari berasal dari berbagai sumber referensi atau sumber-sumber ilmiah lainnya seperti penelitian-penelitian sebelumnya, jurnal, artikel dan buku/*e-book*.

2. Studi Bimbingan

Pada tahap ini, melakukan diskusi secara langsung dengan dosen pembimbing untuk membahas materi atau permasalahan yang ditemukan yang terkait dengan penelitian pada tugas akhir ini sehingga mendapat wawasan dan pengetahuan lebih dalam penyusunan tugas akhir ini.

3. Pengumpulan dan Pengolahan Data

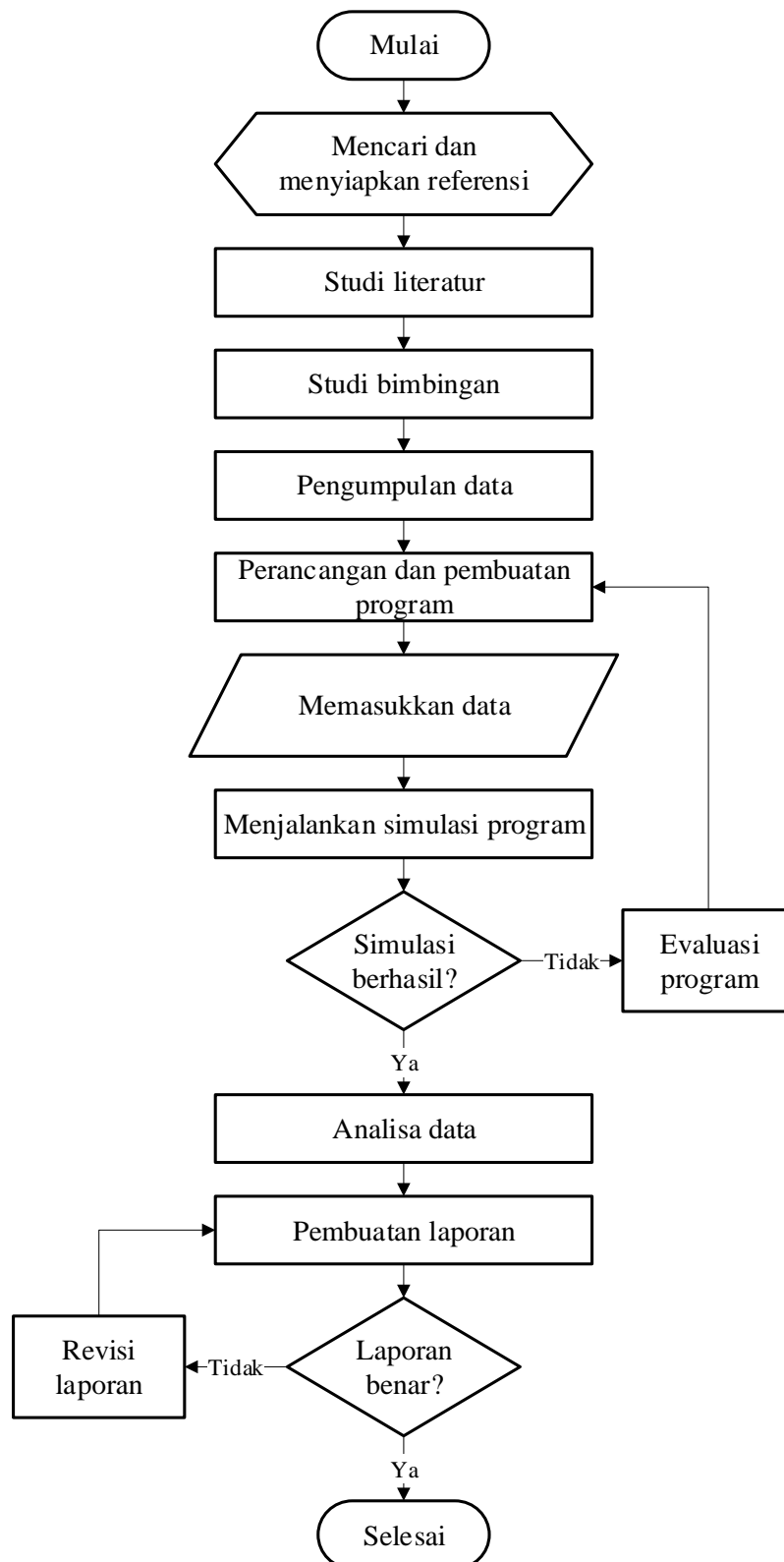
Pada tahap ini, diperlukan data dari studi kasus yang dibutuhkan dan kemudian diolah dan dianalisa dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB dan MATpower dan dianalisa menggunakan metode *Grey Wolf Optimizer* (GWO) yang akan digunakan.

4. Pembuatan laporan

Pada tahap ini, membuat laporan mengenai rencana penelitian dalam bentuk laporan awal dan juga hasil penelitian dalam bentuk laporan akhir.

3.4. Diagram Alir Penelitian

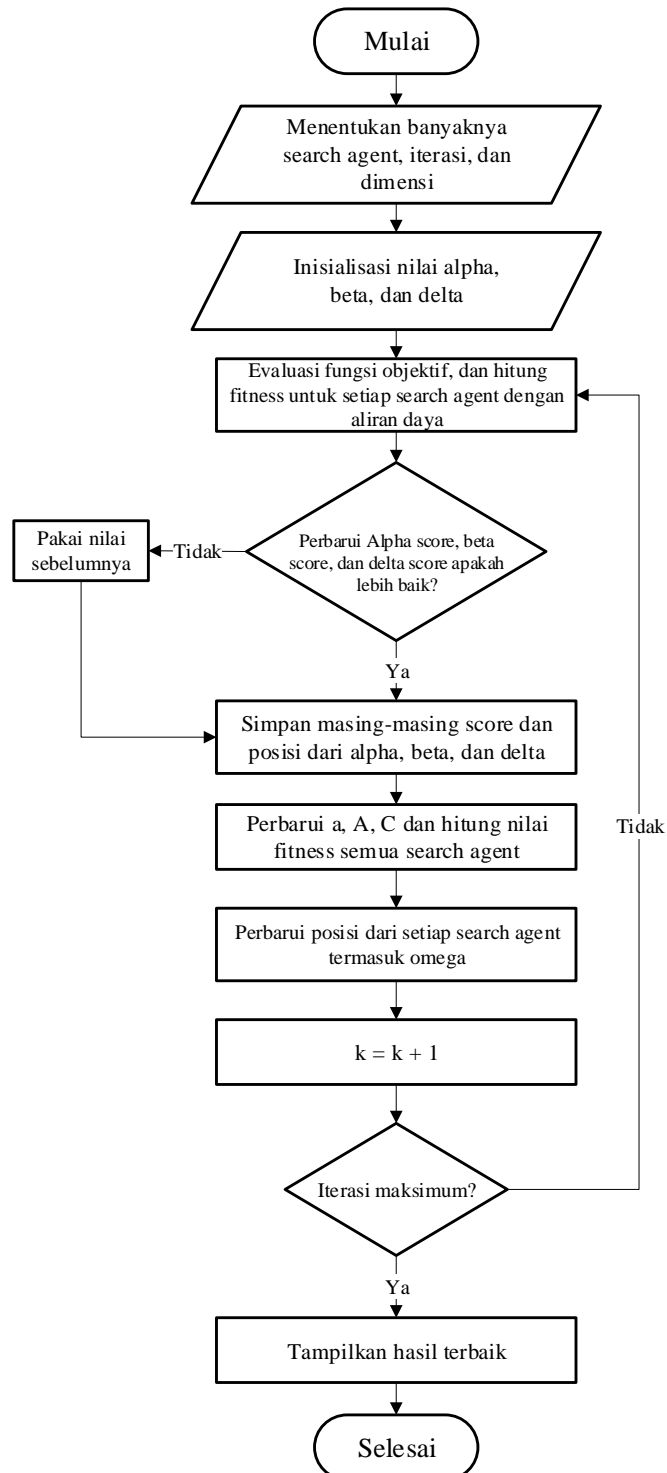
Adapun diagram alir penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.5. Diagram Alir Metode *Grey Wolf Optimizer* (GWO)

Adapun diagram alir simulasi program metode *Grey Wolf Optimizer* (GWO) yang dirancang dengan menggunakan perangkat lunak Matlab untuk menyelesaikan rekonfigurasi jaringan adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Diagram Alir Metode *Grey Wolf Optimizer* (GWO)

3.6. Simulasi Rekonfigurasi Menggunakan Metode GWO

Simulasi rekonfigurasi dilakukan dengan mengubah *tie switch* menjadi *sectionalizing switch* setiap saluran yang mana akan terbentuk *loop* pada sistem. *Loop* yang terbentuk dimaksudkan agar mempermudah dalam proses seleksi atau pencarian *tie switch* pada saluran mana yang seharusnya dibuka atau ditutup. Proses pencarian dilakukan dengan mengubah status *sectionalizing switch* yang dipilih menjadi *tie switch* sehingga akan membuka salah satu bagian saluran pada setiap *loop* dikarenakan pada kondisi normal jaringan distribusi, sistem harus dalam bentuk radial. Kemudian setelah konfigurasi *tie switch* baru didapatkan, dilakukan perhitungan aliran daya menggunakan Matpower untuk mendapatkan rugi-rugi daya. Jumlah *loop* yang terbentuk merupakan dimensi ruang pencarian untuk metode GWO. Pada kasus sistem standar IEEE 33-bus dan 69-bus diketahui terbentuk 5 *loop* pada sistem, maka pada penyelesaian dengan menggunakan metode GWO masing-masing memiliki 5 dimensi ruang pencarian. Seperti ditunjukkan pada tabel 3.2 dan 3.3 berikut.

- Kasus sistem standar IEEE 33-bus

Tabel 3.2 *Loop* atau dimensi ruang pencarian kasus sistem standar IEEE 33-bus

<i>Loop</i> /Dimensi	Saluran
1	8-9-10-11-21-35
2	2-3-4-5-6-7-18-19-20-33
3	12-13-14-34
4	15-16-17-29-30-31-32-36
5	22-23-24-25-26-27-28-37

- Kasus sistem standar IEEE 69-bus

Tabel 3.3 *Loop* atau dimensi ruang pencarian kasus sistem standar IEEE 33-bus

<i>Loop</i> /Dimensi	Saluran
1	15-16-17-18-19-20-70
2	52-53-54-55-56-57-58-72-46-47-48-49
3	35-36-37-38-39-40-41-42-69

4	43-44-45-71-11-12-13-14
5	21-22-23-24-25-26-73-59-60-61-62-63-64

Fungsi objektif rekonfigurasi jaringan adalah rugi-rugi daya paling minimal yang merupakan hasil dari perhitungan aliran daya menggunakan Matpower 6.0. Program simulai menggunakan perangkat lunak MATLAB R2019a. Prosedur simulasi menggunakan metode GWO dijelaskan sebagai berikut:

1. Memasukkan data-data kasus sistem standar IEEE-33 bus dan 69-bus.
2. Menentukan parameter simulasi antara lain jumlah *search agent*, batas atas dan batas bawah variabel kontrol, jumlah dimensi pencarian, dan iterasi maksimum.

Tabel 3.4 Parameter Metode GWO

No	Parameter	Nilai	
		33-bus	69-bus
1	<i>Search Agent</i>	30	40
2	Batas atas (ub)	L1 : 6 L2 : 10 L3 : 4 L4 : 8 L5 : 8	L1 : 7 L2 : 12 L3 : 9 L4 : 8 L5 : 13
3	Batas bawah (lb)	1	1
4	Dimensi	5	5
5	Iterasi maksimum	100	100

Batas atas (ub) merupakan banyaknya saluran yang terhubung pada setiap *loop* atau dimensi.

3. Inisialisasi nilai posisi alfa, beta, dan delta.
4. Evaluasi fungsi objektif untuk setiap *search agent* dengan menghitung rugi-rugi daya menggunakan perhitungan aliran daya pada Matpower.
5. Simpan hasil dan posisi terbaik sebagai skor alfa dan posisi alfa, skor beta dan posisi beta, serta skor delta dan posisi delta.
6. Memperbaharui posisi alfa, beta, dan delta.

7. Melakukan perhitungan hingga iterasi maksimum didapatkan.
8. Menampilkan hasil terbaik (skor alpa dan posisi alpa).
9. Menganalisa hasil sebelum dan setelah optimasi rekonfigurasi menggunakan metode GWO.
10. Menganalisa hasil setelah optimasi dengan beberapa metode penelitian sebelumnya pada permasalahan rekonfigurasi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa pada penelitian “Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Untuk Meminimalisasi Rugi-Rugi Daya Dengan Menggunakan Metode *Grey Wolf Optimizer* (GWO)” dapat diambil kesimpulan:

1. Metode *Grey Wolf Optimizer* (GWO) dapat digunakan untuk merancang konfigurasi *tie switch* yang optimal pada jaringan distribusi sehingga dapat meminimalisasi rugi-rugi daya aktif dan memperbaiki profil tegangan pada penyelesaian optimasi rekonfigurasi jaringan distribusi.
2. Berdasarkan hasil simulasi pada sistem standar IEEE 33-bus menggunakan metode *Grey Wolf Optimizer* (GWO), bahwa rugi-rugi daya aktif dapat berkurang dari 202,6771 kW menjadi 139,5513 kW, dengan kata lain didapatkan persentase pengurangan rugi daya sebesar 31,146 %. Profil tegangan diperbaiki menjadi sebesar 0,93782 pu dari sebelum rekonfigurasi sebesar 0,91309 pu.
3. Berdasarkan hasil simulasi pada sistem standar IEEE 69-bus menggunakan metode *Grey Wolf Optimizer* (GWO), bahwa rugi-rugi daya aktif dapat berkurang dari semula 225,0007 kW menjadi 98,6056 kW, dengan kata lain didapatkan persentase pengurangan rugi daya sebesar 56,1754 %. Profil tegangan diperbaiki menjadi sebesar 0,94947 pu dari sebelum rekonfigurasi sebesar 0,90919 pu.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai “Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Untuk Meminimalisasi Rugi-Rugi Daya Dengan Menggunakan Metode

Grey Wolf Optimizer (GWO)”, saran yang dapat dilakukan terhadap pengembangan penelitian selanjutnya adalah:

1. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan terhadap pengembangan sistem atau jaringan yang lebih besar.
2. Pengembangan penelitian selanjutnya dapat melakukan usaha atau alternatif lain seperti menambahkan kapasitor *bank* atau DG pada jaringan agar mendapatkan hasil rugi-rugi daya yang lebih minimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. E. Baran dan F. F. Wu. 1989. Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing. *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 4, no. 2, pp. 1401-1407.
- [2] A. S. Abubakar, K. R. Ekundayo dan A. A. Olaniyan. 2019. Optimal Reconfiguration of Radial Distribution Networks using Improved Genetic Algorithm. *Nigerian Journal Of Technological Development*, vol. 16, no. 1, pp. 10-16.
- [3] P. Prasas, A. V. S. Reddy dan B. B. Reddy. 2015. Power Loss Minimization In Distribution System Using Network Reconfiguration With Particle Swarm Optimization. *International Journal of Engineering Science & Advanced Technology*, vol. 5, no. 3, pp. 171-178.
- [4] A. V. S. Reddy dan M. D. Reddy. 2016. Optimization Of Distribution Network Reconfiguration Using Dragonfly Algorithm. *Journal of Electrical Engineering*, vol. 16, no. 4, pp. 273-282.
- [5] S. Mirjalili, S. M. Mirjalili dan A. Lewis. 2014. Grey Wolf Optimizer. *Advances in Engineering Software, ELSEVIER*, vol. 69, pp. 46-61.
- [6] O. Zebua dan I. M. Ginarsa. 2017. Optimal Reactive Power Dispatch Untuk Meminimisasi Rugi-Rugi Daya Aktif Pada Sistem Lampung Menggunakan Metode Grey Wolf Optimizer (GWO). *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 90-96.
- [7] D. P. Setianata. 2020. Penyelesaian Economic Dispatch Menggunakan Metode Grey Wolf Optimization (GWO). Teknik Elektro, Universitas Lampung.

- [8] N. A. Basyarach dan O. Penangsang. 2019. Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Radial Untuk Minimasi Rugi Daya Menggunakan Binary Particle Swarm Optimization (BPSO),” *Jurnal Hasil Penelitian LPPM UNTAG Surabaya*, vol. 4, no. 1, pp. 78-82.
- [9] A. Kadir. 2000. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*, Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- [10] H. Saadat. 1999. *Power System Analysis*. New York: McGraw-hill.
- [11] O. Zebua dan I. M. Ginarsa. 2016. Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Untuk Meminimisasi Rugi-Rugi Pada Penyulang Kabut Di Gardu Induk Teluk Betung Menggunakan Metode Binary Particle Swarm Optimization (BPSO). *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 110-117.
- [12] G. Negi, A. Kumar, S. Pant dan M. Ram. 2021. GWO: a review and applications. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, vol. 12, no. 1, pp. 1-8.
- [13] *MATLAB 9.6 (R2019a) User Guide*, www.mathworks.com, 2019.
- [14] R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sánchez dan R. J. Thomas. 2011. MATPOWER: Steady-State Operations, Planning, and Analysis Tools for Power Systems Research and Education. *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 26, no. 1, pp. 12-19.
- [15] T. T. Nguyen, A. V. Truong dan T. A. Pung. 2016. A novel method based on adaptive cuckoo search for optimal network reconfiguration and distributed generation allocation in distribution network. *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 78, pp. 801-815.
- [16] A. M. Imran, M. Kowsalya dan D. P. Kothari. 2014. A novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks. *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 63, pp. 461-472.