

**OPTIMASI JARINGAN DISTRIBUSI DENGAN REKONFIGURASI
PENYULANG DAN PENEMPATAN KAPASITOR UNTUK MEMINIMASI
RUGI-RUGI DAYA MENGGUNAKAN METODE *POLITICAL OPTIMIZER***

(Skripsi)

Oleh

Raselindo Putra Pratama

NPM 2115031068



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2025

ABSTRAK

OPTIMASI JARINGAN DISTRIBUSI DENGAN REKONFIGURASI PENYULANG DAN PENEMPATAN KAPASITOR UNTUK MEMINIMASI RUGI-RUGI DAYA MENGGUNAKAN METODE *POLITICAL OPTIMIZER*

OLEH

RASELINDO PUTRA PRATAMA

Jaringan distribusi radial kerap mengalami rugi-rugi daya yang tinggi dan penurunan tegangan pada bus yang jauh dari sumber. Kondisi ini menurunkan efisiensi penyaluran tenaga listrik sekaligus kualitas tegangan di sisi konsumen. Penelitian ini bertujuan meminimalkan rugi-rugi daya serta memperbaiki profil tegangan melalui kombinasi rekonfigurasi jaringan dan penempatan kapasitor shunt. Optimasi dilakukan dengan metode *Political Optimizer* (PO), yang dirancang untuk mencari konfigurasi sakelar dan lokasi kapasitor paling efektif dengan tetap memperhatikan radialitas jaringan. Studi kasus yang digunakan pada penelitian ini yaitu sistem Penyulang Patin pada GI Metro. Hasil simulasi pada Penyulang Patin menunjukkan bahwa rugi-rugi daya aktif berkurang dari 77,3929 kW menjadi 75,4744 kW setelah rekonfigurasi, dan berkurang lagi menjadi 67,4816 kW atau sekitar 12,81% dibanding kondisi awal setelah digabung dengan penempatan kapasitor. Tegangan minimum sistem juga meningkat dari 0,96167 p.u. menjadi 0,97242 p.u. Dengan demikian, metode PO terbukti efektif dalam menghasilkan konfigurasi jaringan dan penempatan kapasitor yang optimal sehingga efisiensi distribusi tenaga listrik dapat ditingkatkan.

Kata kunci: Rekonfigurasi, penempatan kapasitor, *Political Optimizer*

ABSTRACT

OPTIMASI JARINGAN DISTRIBUSI DENGAN REKONFIGURASI PENYULANG DAN PENEMPATAN KAPASITOR UNTUK MEMINIMASI RUGI-RUGI DAYA MENGGUNAKAN METODE *POLITICAL OPTIMIZER*

By

RASELINDO PUTRA PRATAMA

Radial distribution networks often experience high power losses and voltage drops at buses located far from the source. These conditions reduce the efficiency of power delivery as well as the quality of voltage received by consumers. This study aims to minimize power losses and improve voltage profiles through a combination of network reconfiguration and shunt capacitor placement. Optimization is carried out using the Political Optimizer (PO) method, which is designed to determine the most effective switch configuration and capacitor locations while maintaining the radial structure of the network. The case study was conducted on the Patin feeder at the Metro substation. The simulation results show that active power losses decrease from 77.3929 kW to 75.4744 kW after reconfiguration, and further decrease to 67.4816 kW, or about 12.81% compared to the initial condition, after the combined application of reconfiguration and capacitor placement. The minimum system voltage also increases from 0.96167 p.u. to 0.97242 p.u. These findings demonstrate that the PO method is effective in producing optimal switch configurations and capacitor placements, thereby improving the efficiency of power distribution systems.

Keyword: Reconfiguration, capacitor placement, Political optimizer

**OPTIMASI JARINGAN DISTRIBUSI DENGAN REKONFIGURASI
PENYULANG DAN PENEMPATAN KAPASITOR UNTUK MEMINIMASI
RUGI-RUGI DAYA MENGGUNAKAN METODE *POLITICAL OPTIMIZER***

Oleh

Raselindo Putra Pratama

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Lampung



FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2025

Judul Skripsi

: **OPTIMASI JARINGAN DISRIBUSI
DENGAN REKONFIGURASI PENYULANG
DAN PENEMPATAN KAPASITOR UNTUK
MEMINIMASI RUGI-RUGI DAYA
MENGUNAKAN METODE *POLITICAL
OPTIMIZER***

Nama Mahasiswa

: **Raselindo Putra Pratama**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 211501068

Jurusan

: Teknik Elektro

Fakultas

: Teknik



Osea Zebua, S.T., M.T.
NIP. 197006091999031002

Zulmiftah Huda, S.T., M.Eng.
NIP. 198806242019031015

2. Mengetahui

Ketua Jurusan
Teknik Elektro

Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 197103141999032001

Ketua Program Studi
Teknik Elektro

Sumadi, S.T., M.T.
NIP. 197311042000031001

MENGESAHKAN

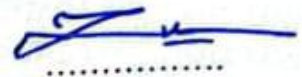
1. Tim Penguji

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



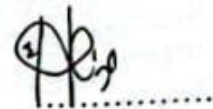
.....

Sekretaris : Zulmiftah Huda, S.T., M.Eng.



.....

Penguji
Bukan Pembimbing : Ir. Herri Gusmedi, S.T., MT., IPM.



.....

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }
NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 07 Oktober 2025

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar 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.

Randak Lamrung, Oktober 2025



Raschidul Fatah Ratama
NPM. 2115031068

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Prabumulih, 13 Maret 2024. Penulis merupakan anak ke-1 dari 4 bersaudara dari pasangan Bapak Firmansyah dan Ibu Dini Suryani. Penulis telah menempuh pendidikan di SD 24 Prabumulih pada tahun 2010 hingga 2016, SMP MTsN 1 Prabumulih pada tahun 2016 hingga 2019, dan SMAN 6 Prabumulih pada 2019 hingga 2021.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi mahasiswa, penulis tergabung dalam keanggotaan asisten Laboratorium Sistem Tenaga Listrik dari tahun 2023 dan berkesempatan menjadi asisten mata kuliah Menggambar Teknik pada tahun 2023 dan mata kuliah Praktikum Analisis Sistem Tenaga pada tahun 2024. Kemudian penulis tergabung dalam lembaga kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro (HIMATRO) sebagai anggota Departemen Pengembangan Keteknikan Divisi Pengabdian Masyarakat pada tahun 2022 hingga 2023. Selain itu, penulis juga tergabung dalam Lembaga kemahasiswaan Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM FT) sebagai Kepala Dinas Komunikasi dan Informasi (KOMINFO) pada tahun 2022 hingga 2023. Dan penulis juga tergabung dalam Lembaga kemahasiswaan FOSSI-FT sebagai anggota departemen Masjid dan Kesektariatan pada tahun 2023.

Kemudian pada 01 Juli 2024 - 09 Agustus 2024, penulis melakukan kerja praktik (KP) di PT. BUKIT ASAM Muara Enim dengan mengangkat judul “Analisis Pengaruh Arus Medan Terhadap Kinerja Generator Sinkron Unit 1 Pada Pltu Banko Barat 3x10 Mw Tanjung Enim Pt. Bukit Asam Tbk”.

PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Al-ḥamdu lillāhi rabbil-'ālamīn, semua puji hanya bagi Allah SWT, Tuhan segala makhluk, atas ilmu yang Kau beri, atas hati yang Kau terangi, dan atas harapan yang Kau tumbuhkan. Jadikanlah aku hamba yang selalu bersyukur

Dengan penuh kerendahan hati dan cinta,

KUPERSEMBAHKAN KARYA INI UNTUK

Ayah & Ibu Tercinta

Firmansyah & Dini Suryani

Adik-adikku tersayang

M. Rauf Al-Zhahir, Razqa Arjuna Ramadhan, & Ramzizan Sya'ban

Serta

Keluarga Besar, Dosen, Sahabat, Teman dan Almameter

MOTTO

إِنَّ الصَّلَاةَ كَانَتْ عَلَى الْمُؤْمِنِينَ كِتَابًا مَوْقُوتًا

Latin: Innaṣ-ṣalāta kānat ‘alal-mu’minīna kitāban mauqūtā.

Artinya: “Sesungguhnya shalat itu adalah kewajiban yang ditentukan waktunya atas orang-orang yang beriman.” (QS. An-Nisā’ [4]: 103)

اللَّهُ يَرْفَعُ الَّذِينَ ءَامَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ ۗ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ

Latin: Allāhu yarfa’i alladzīna āmanū minkum walladzīna ūtūl-‘ilma darajāt, wallāhu bimā ta‘malūna khabīr

Artinya: “Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan.” (QS. Al-Mujadilah [58]:11)

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۚ

Latin: Fa inna ma‘al-‘usri yusrā (5) inna ma‘al-‘usri yusrā (6).

Artinya: “Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan.” (QS. Al-Inyirah [94]:5-6)

Meskipun vektor tujuan berada pada arah yang sama, lintasan setiap individu berbeda-beda. Karena itu, membandingkan proses hanya akan mengabaikan variabel unik yang membentuk hasilnya

(R)

SANWACANA

Al-hamdu lillāhi rabbil'ālamīn, segala puji syukur kita panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan umatnya hingga akhir zaman.

Skripsi dengan judul “Optimasi Jaringan Distribusi Dengan Rekonfigurasi Penyulang Dan Penempatan Kapasitor Untuk Meminimasi Rugi-Rugi Daya Menggunakan Metode *Political Optimizer*” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Selama pelaksanaan penelitian dan penulisan skripsi ini, penulis mendapatkan bantuan dan dukungan dari pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih banyak yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah Subhānahu wa Ta‘ālā yang telah menganugerahkan kesempatan hidup, rahmat, karunia, rezeki, ilmu, hidayah, serta menghadirkan kesulitan dan kemudahan sebagai jalan pembelajaran bagi penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orang tua tercinta, Ayah Firmansyah dan Ibu Dini Suryani, yang telah berjasa memberikan motivasi, semangat, doa dan perjuangan demi kehidupan kehidupan masa depan yang baik kepada penulis.
3. Adikku tersayang M. Rauf Al-Zhahir, Razqa Arjuna Ramadhan, Ramzizan syaban yang telah memberikan motivasi dan semangat selama penulis menempuh perkuliahan.
4. Bapak Osea Zebua, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama yang penuh perhatian yang telah membimbing, memotivasi dan memberi masukan yang membangun kepada penulis.
5. Bapak Zulmiftah Huda, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing kedua yang telah membimbing, memotivasi dan memberi masukan yang membangun kepada penulis.

6. Bapak Ir. Herri Gusmedi, S.T., MT., IPM., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, masukan, saran serta motivasi yang membangun kepada penulis.
7. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A. IPM., ASEAN.Eng., selaku Rektor Universitas Lampung.
8. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
9. Program Beasiswa Kartu Indonesia Pintar Kuliah (KIP-K) yang telah memberikan dukungan pembiayaan pendidikan kepada penulis sejak semester pertama hingga semester delapan.
10. Ibu Herlinawati, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
11. Bapak Sumadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Prodi Studi Teknik Elektro Universitas Lampung.
12. Ibu Dr. Sri Purwiyanti, ST, MT, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik (PA) yang telah memberikan nasehat, arahan, bimbingan dengan baik kepada penulis selama perkuliahan.
13. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu, wawasan dan pengalaman yang bermanfaat bagi penulis.
14. Staff administrasi Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
15. Segenap Keluarga Besar Sistem Tenaga Listrik; Bapak rachman atas ilmu dan kerjasamanya selama penulis menjadi asisten laboratorium, Kakak-kakak asisten Lab 2019 dan 2020 atas ilmu dan bantuan serta pengalamannya; Imam, Rasyid, Tegar, Eikel, Jerry, Nadia, Frissa, Desta, atas bantuan, motivasi, kerjasama dan pengalamannya selama ini; Serta adik-adik 2022, Lutfi, Andri, Adnan, Hakim, Pharel, Jakub, Magdalena, Dian, Komang atas hiburan dan teman diskusi penulis.
16. Teman- teman kelas B (badung) dan Lorong Kostan; Ade, Aldi, Yudi yang telah menghibur penulis selama semester awal perkuliahan. Rekan satu perjalanan

dalam perjalanan menuju kampus; Fawwaz, Teman sekaligus tetangga yang menemani penulis diawal semester;Ihsan.

17. Segenap Keluarga Besar Himatro yang telah mengajarkan arti organisasi, keluarga dan banyak hal selama penulis menempuh perkuliahan.
18. Keluarga Besar Excalto'21 atas kebersamaan dan sebagai rumah kedua setelah Himatro selama penulis menjalani perkuliahan.
19. Jove Zetiya Aurelia Putri Joe sebagai pasangan, tempat cerita, dan keluh kesah dari awal semester hingga akhir perkuliahan penulis.
20. Keluarga PRAMUBA; Syabi, Rasyid, Imam, Rizky dan Alfiza sebagai sahabat seperjuangan penulis.
21. Ibu In Marida, Ibu Titin Noviar dan orang yang tidak bisa saya sebut satu persatu yang telah memberikan dukungan, motivasi dan materi kepada penulis.
22. Keluarga KKN Kec. Mesuji; Adi, Nico, Widi, Anind, Bella, mayang, Camat Mesuji dan segenap warga Harapan Jaya yang telah banyak membantu, menemani dan memberikan Pelajaran berharga bagi penulis selama 40 hari
23. Keluarga LNC; Bambang, Noven, Akbar, Yoga dan Riky yang telah memberikan penulis hiburan dan rumah singgah diakhir semester penulis.
24. PT. Bukit Asam; Bapak Yusmar yang telah membantu penulis melaksanakan kerja praktik. Rentrik dan Perencanaan PLTU; Bapak Arif, Bapak Fredy dan yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.
25. Terima kasih kepada laptop pribadi yang telah menjadi teman setia dalam setiap proses, suka, dan duka selama penyusunan skripsi ini.
26. Kakak-kakak dan Adik-adik di Jurusan Teknik Elektro, serta seluruh Teman-teman yang terlibat langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi penulis.

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 kita semua. Aamiin.

Bandar Lampung, 14 Oktober 2025



Raselindo Putra Pratama

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	XIV
DAFTAR GAMBAR	XVI
DAFTAR TABEL	XVII
I. PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2. TUJUAN PENELITIAN	3
1.3. PERUMUSAN MASALAH	3
1.4. BATASAN MASALAH	4
1.5. MANFAAT PENELITIAN	4
1.6. HIPOTESIS	4
1.7. SISTEMATIKA PENULISAN	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. SISTEM DISTRIBUSI	6
2.1.1. Beberapa Tipe Sistem Jaringan Distribusi Primer	6
2.1.1.1. Sistem Radial	6
3.1.1.2. Sistem lingkaran (<i>loop/ring</i>)	7
3.1.1.3. Sistem <i>spindel</i>	8
3.1.1.4. Sistem gugus (<i>Mesh</i>)	9
2.2. RUGI-RUGI DAYA PADA SALURAN DISTRIBUSI	9
2.3. FAKTOR DAYA (<i>POWER FACTOR</i>) PADA SISTEM DISTRIBUSI	11
2.4. KAPASITOR BANK	11
2.5. ALIRAN DAYA	14
2.6. <i>POLITICAL OPTIMIZER</i>	16
2.6.1. <i>Pemodelan Matematis Dan Algoritma Optimasi</i>	17

2.6.1.1. Pembentukan partai dan alokasi konstituensi (daerah pemilihan)	17
2.6.1.2. Kampanye pemilu	18
2.6.1.3. Pergantian partai.....	19
2.6.1.4. Pemilihan	20
2.6.1.5. Urusan parlementer	20
III. METODE PENELITIAN	22
3.1. WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN	22
3.2. ALAT DAN BAHAN PENELITIAN.....	22
3.3. TAHAPAN PENELITIAN	23
3.4. DIAGRAM ALIR	24
3.5. DIAGRAM ALIR METODE <i>POLITICAL OPTIMIZER</i> (PO).....	24
3.6. FORMULASI MASALAH.....	25
3.6.1. Fungsi Objektif	25
3.6.2. Batasan	26
3.7. SIMULASI REKONFIGURASI MENGGUNAKAN METODE <i>POLITICAL OPTIMIZER</i> (PO).....	26
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1. SKENARIO SIMULASI.....	29
4.2. HASIL SIMULASI PENYULANG PATIN	30
4.2.1. Hasil Simulasi Sebelum Konfigurasi	30
4.2.2. Hasil Simulasi Setelah Rekonfigurasi.....	34
4.2.3. Hasil Simulasi Setelah Rekonfigurasi dan Penempatan Kapasitor.....	39
4.2.4. Perbandingan Hasil Simulasi Antara Sebelum dan Setelah Rekonfigurasi dan Penempatan Kapasitor	43
V. KESIMPULAN	46
5.1. KESIMPULAN.....	46
5.2. SARAN	46
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Konfigurasi Jaringan Radial.....	7
Gambar 2. Konfigurasi Jaringan Lingkar (loop/ring)	8
Gambar 3. Konfigurasi Jaringan Spindel	8
Gambar 4. Konfigurasi Jaringan Gugus.....	9
Gambar 5. Diagram Phasor Rangkaian RLC Paralel	13
Gambar 6. Ilustrasi Pembagian Logis Penduduk P Dalam Partai Politik Dan Daerah Pemilihan	18
Gambar 7. Diagram Alir Penelitian.....	24
Gambar 8. (a) Diagram Alir Metode Political Optimizer (PO) Secara Umum, (b) Diagram Alir Metode Political Optimizer (PO) Secara Jaringan Penelitian.....	25
Gambar 9. Sistem Penyulang Patin 85 bus	33
Gambar 10. Sistem Penyulang Patin dengan kandidat saluran baru.....	34
Gambar 11. Sistem Penyulang Patin setelah rekonfigurasi.....	37
Gambar 12. profil tegangan sistem Penyulang Patin setelah rekonfigurasi.....	38
Gambar 13. Kurva konvergensi hasil optimasi rekonfigurasi dan penempatan kapasitor sistem Penyulang Patin menggunakan metode Political Optimizer (PO)	38
Gambar 14. Profil tegangan sebelum dan setelah rekonfigurasi dan penempatan kapasitor	41
Gambar 15. Kurva konvergensi hasil optimasi rekonfigurasi dan penempatan kapasitor sistem Penyulang Patin menggunakan metode Political Optimizer (PO)	41
Gambar 16. Sistem Penyulang Patin setelah rekonfigurasi dan penempatan kapasitor	42

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Waktu Penelitian.....	22
Tabel 2. loop atau dimensi ruang pencarian kasus sistem Penyulang Patin.....	27
Tabel 3. Parameter Metode Political Optimizer (PO)	29
Tabel 4. Tegangan bus Penyulang Patin sebelum rekonfigurasi dan penempatan kapasitor	30
Tabel 5. Rencana saluran baru sistem Penyulang Patin	35
Tabel 6. Tegangan bus sistem Penyulang Patin setelah rekonfigurasi	35
Tabel 7. Tegangan bus sistem Penyulang Patin setelah rekonfigurasi dan penempatan kapasitor.....	39
Tabel 8. Perbandingan hasil simulasi antara sebelum dan setelah rekonfigurasi dan penempatan kapasitor.....	43

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan pasokan listrik di Indonesia mengalami peningkatan signifikan seiring dengan pertumbuhan populasi dan ekspansi sektor industri. Sektor kelistrikan memiliki kontribusi fundamental terhadap aktivitas ekonomi nasional, karena listrik menjadi kebutuhan dasar yang menopang operasional peralatan produksi maupun perangkat domestik dalam kehidupan sehari-hari. Dalam konteks sistem kelistrikan modern, kualitas penyaluran energi menjadi faktor krusial yang menentukan keandalan pasokan. Oleh karena itu, stabilitas tegangan dalam jaringan distribusi merupakan parameter penting yang mencerminkan kemampuan sistem dalam melayani kebutuhan konsumen secara optimal dan menjaga kontinuitas aktivitas ekonomi masyarakat[1].

Permasalahan utama yang sering dijumpai dalam sistem distribusi adalah meningkatnya permintaan daya aktif dan daya reaktif akibat pertumbuhan beban induktif. Ketika suplai daya reaktif di sekitar beban tidak mencukupi, pembangkit harus menanggung seluruh kebutuhan daya reaktif sistem [2]. Kondisi ini mengakibatkan beberapa dampak negatif pada jaringan, yaitu terjadinya drop tegangan, penurunan nilai faktor daya, serta peningkatan *losses* pada sistem [2]. Salah satu solusi teknis untuk menangani permasalahan tersebut adalah dengan mengimplementasikan kompensasi daya reaktif menggunakan bank kapasitor. Efektivitas solusi ini sangat bergantung pada akurasi penentuan titik pemasangan dan besaran kapasitas kapasitor yang dipasang, karena konfigurasi yang tepat dapat memperbaiki kualitas tegangan, meningkatkan efisiensi faktor daya, sekaligus meminimalkan *losses* daya dalam sistem distribusi. Dengan demikian, diperlukan metode optimasi untuk mengidentifikasi lokasi pemasangan dan rating kapasitor yang paling sesuai dengan karakteristik jaringan.

Peningkatan efisiensi sistem distribusi juga dapat dicapai melalui rekonfigurasi topologi jaringan sebagai alternatif selain kompensasi reaktif. Proses rekonfigurasi melibatkan operasi *switching* pada sakelar seksional dan sakelar *tie* untuk memodifikasi struktur jaringan, dengan memanfaatkan infrastruktur saluran yang telah ada tanpa memerlukan penambahan jalur transmisi baru. Pendekatan ini bertujuan untuk memperoleh struktur jaringan yang menghasilkan kerugian daya paling minimal serta distribusi tegangan yang lebih merata. Dengan menggabungkan metode rekonfigurasi dan penempatan kapasitor secara terintegrasi, serta menerapkan teknik optimasi dalam proses perencanaannya, maka sistem distribusi tenaga listrik dapat dikembangkan menjadi lebih efisien, andal, dan mampu memenuhi kebutuhan beban secara optimal [3].

Penelitian ini akan dilakukan analisa rekonfigurasi jaringan distribusi dan penempatan kapasitor dengan menggunakan metode *Political Optimizer* yaitu algoritma optimasi global berbasis populasi yang dikembangkan oleh Askari (2020), terinspirasi dari proses politik yang umum terjadi dalam sistem pemerintahan demokratis. Algoritma ini termasuk dalam kategori metaheuristik sosial-inspiratif (*socio-inspired metaheuristics*), dengan struktur yang merepresentasikan dinamika partai politik, pemilu, dan kegiatan legislatif sebagai proses untuk mengeksplorasi dan mengeksploitasi ruang pencarian solusi. Beberapa penelitian terdahulu yang membahas permasalahan rekonfigurasi jaringan dan penempatan kapasitor telah berhasil menerapkan berbagai metode optimasi, di antaranya sebagai berikut:

- Pangestu (2021) menerapkan algoritma *Grey Wolf Optimizer* dalam optimasi rekonfigurasi jaringan untuk menurunkan *losses* daya.
- Abubakar (2019) menggunakan algoritma genetika yang telah dimodifikasi untuk mengoptimalkan rekonfigurasi jaringan distribusi radial.
- Nahor et al. (2023) Penerapan algoritma *Grey Wolf Optimizer* dalam menentukan lokasi dan rating optimal kapasitor bank telah didemonstrasikan pada studi kasus penyulang Americano.

- Yunus (2016) menggunakan pendekatan algoritma genetika untuk mengoptimalkan lokasi pemasangan kapasitor guna memperbaiki profil tegangan dan mengurangi *losses* pada sistem transmisi.

Pendekatan optimasi yang diterapkan dalam penelitian ini adalah *Political Optimizer* (PO). Metode ini telah digunakan dalam beberapa penelitian sebelumnya, di antaranya:

- Fajuke (2022) menerapkan algoritma *Political Optimizer* untuk mengoptimalkan rekonfigurasi jaringan distribusi dalam rangka mereduksi *losses* daya [4].

Berdasarkan permasalahan dan metode diatas, penulis mencoba menerapkan metode *Political Optimizer* (PO) dalam menyelesaikan permasalahan rekonfigurasi dan penempatan kapasitor jaringan distribusi untuk meminimasi rugi-rugi daya pada Penyulang Patin.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi topologi jaringan dan titik pemasangan kapasitor yang paling efektif untuk mereduksi *losses* daya dan memperbaiki profil tegangan sistem.
2. Mengembangkan model optimasi jaringan distribusi dengan menggabungkan strategi rekonfigurasi penyulang dan penempatan kapasitor untuk meningkatkan efisiensi sistem distribusi.
3. Membandingkan performa jaringan sebelum dan sesudah optimasi.

1.3. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dari penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Seberapa besar nilai *losses* daya dan bagaimana profil tegangan pada sistem Penyulang Patin sebelum dilakukan proses optimasi?

2. Bagaimana penerapan algoritma *Political Optimizer* dalam melakukan optimasi simultan untuk rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi kapasitor?

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Analisis hanya mempertimbangkan kondisi *steady-state* (tidak mempertimbangkan gangguan atau *fault*)
2. Optimasi dilakukan terhadap dua aspek utama saja, yaitu:
 - Rekonfigurasi jaringan (status *switch on/off*)
 - Penempatan kapasitor (lokasi dan kapasitas kapasitor)
3. Penelitian ini tidak mempertimbangkan kondisi gangguan atau pemutusan saluran pada saat penambahan kapasitor.

1.5. Manfaat Penelitian

Kontribusi penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Memberikan acuan bagi studi lanjutan yang mengintegrasikan rekonfigurasi topologi jaringan dengan alokasi kapasitor dalam kerangka optimasi terpadu.
2. Memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang teknik elektro, khususnya pada pemanfaatan metode metaheuristik modern (*Political Optimizer*) untuk optimasi sistem distribusi tenaga listrik.

1.6. Hipotesis

Penerapan metode PO untuk mengoptimasi rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi kapasitor di Penyulang Patin mampu menurunkan *losses* daya sekaligus memperbaiki profil tegangan sistem bila dibandingkan dengan kondisi *base case*.

1.7. Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan deskripsi sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Pada bab ini disajikan landasan penelitian, sasaran yang ditargetkan, identifikasi permasalahan, ruang lingkup kajian, dugaan sementara, kegunaan penelitian, serta susunan penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diuraikan konsep teoritis dan tinjauan literatur yang relevan dengan penelitian, yang bersumber dari publikasi ilmiah berupa buku dan jurnal.

BAB III. METODE PENELITIAN

Pada bab ini dipaparkan lokasi dan jadwal penelitian, instrumen dan data yang digunakan, metodologi yang diterapkan, beserta diagram alir yang mendeskripsikan prosedur pelaksanaan penelitian.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memaparkan hasil dan menganalisa hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian akhir ini menyajikan kesimpulan yang diperoleh dari analisis dan pembahasan, serta memberikan rekomendasi untuk riset selanjutnya atau penerapan hasil penelitian di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Distribusi

Dalam sistem tenaga listrik, sistem distribusi berperan sebagai penghubung antara jaringan transmisi dan konsumen akhir. Kedekatannya dengan beban menjadikan sistem ini memperoleh perhatian khusus terkait kontinuitas pasokan dan mutu tegangan, terutama dari sisi pengguna listrik[5]. Sistem distribusi berfungsi sebagai sarana penyaluran energi listrik ke berbagai lokasi konsumen setelah mengalami penurunan tegangan dari sistem transmisi. Selain itu, sistem ini berfungsi sebagai subsistem yang memiliki keterhubungan langsung dengan konsumen, di mana penyaluran energi menuju pusat-pusat beban dilakukan melalui jaringan distribusi secara langsung. [3]. Secara umum sistem distribusi dibagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Distribusi primer

Jaringan distribusi primer merupakan bagian dari sistem distribusi tenaga listrik yang beroperasi pada tingkat tegangan menengah, yaitu sekitar 20 kV. Jaringan ini menyalurkan energi listrik dari gardu induk hingga ke titik distribusi di mana tegangan diturunkan oleh transformator distribusi ke level yang sesuai dengan kebutuhan konsumen.

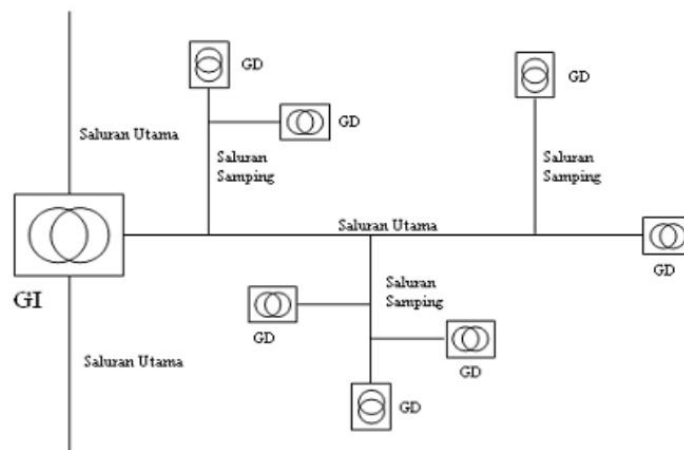
2. Distribusi sekunder

Jaringan sekunder merupakan bagian dari sistem jaringan distribusi listrik tegangan rendah, yaitu sebesar 380 V/220 V, yang dimulai dari trafo distribusi dan disalurkan melalui konduktor tegangan rendah hingga mencapai kWh meter pada instalasi konsumen [6].

2.1.1. Beberapa Tipe Sistem Jaringan Distribusi Primer

2.1.1.1. Sistem Radial

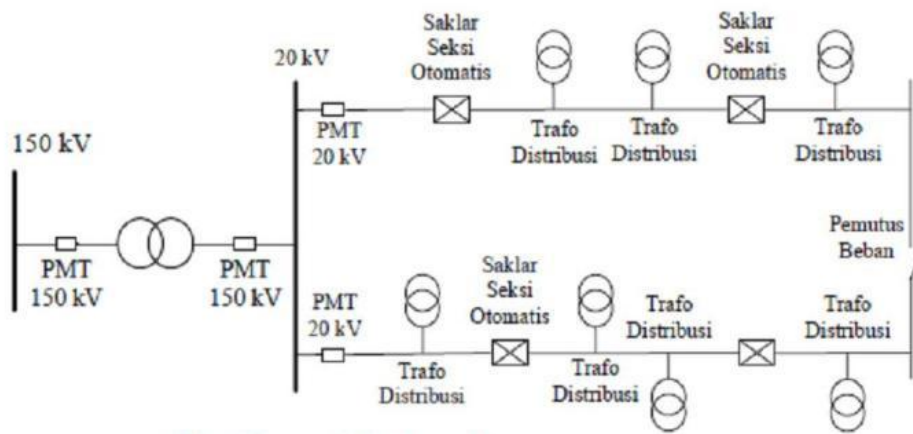
Sistem radial merupakan sistem jaringan distribusi yang hanya memiliki satu sumber dan satu penyulang. Apabila terjadi gangguan pada salah satu komponen tersebut, baik pada sumber maupun penyulang, seluruh beban yang terhubung ke jaringan tersebut akan mengalami pemadaman. Oleh karena itu, tingkat keandalan sistem radial tergolong rendah. Sistem ini umumnya digunakan pada jaringan distribusi di daerah luar kota dan hanya memenuhi tingkat kontinuitas pelayanan level 1.



Gambar 1. Konfigurasi Jaringan Radial [7]

3.1.1.2. Sistem lingkaran (*loop/ring*)

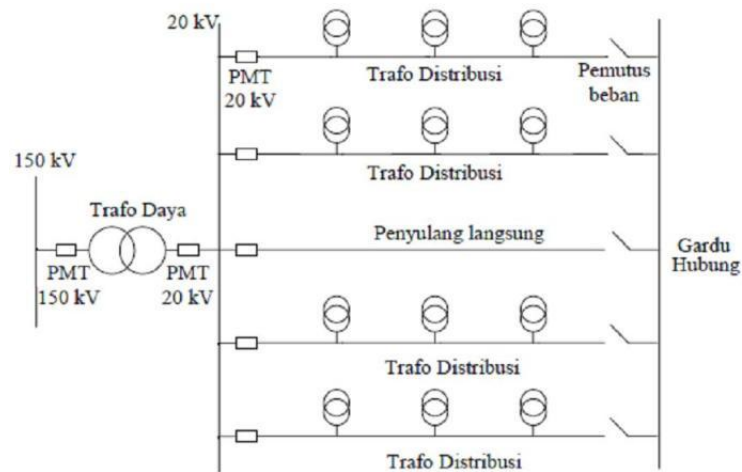
Sistem lingkaran atau *ring*, merupakan konfigurasi jaringan distribusi yang menggabungkan dua sistem radial. Pada kondisi operasi normal, respon operasional sistem ini hampir sama dengan sistem radial. Namun, sistem lingkaran menunjukkan keandalan yang lebih tinggi dan kontinuitas layanan yang lebih baik dibandingkan sistem radial. Peningkatan performa ini disebabkan oleh adanya beberapa sumber dan penyulang dalam jaringan, sehingga aliran daya dapat terus berlangsung meskipun salah satu jalur mengalami gangguan.



Gambar 2. Konfigurasi Jaringan Lingkaran (*loop/ring*)[8]

3.1.1.3. Sistem *spindel*

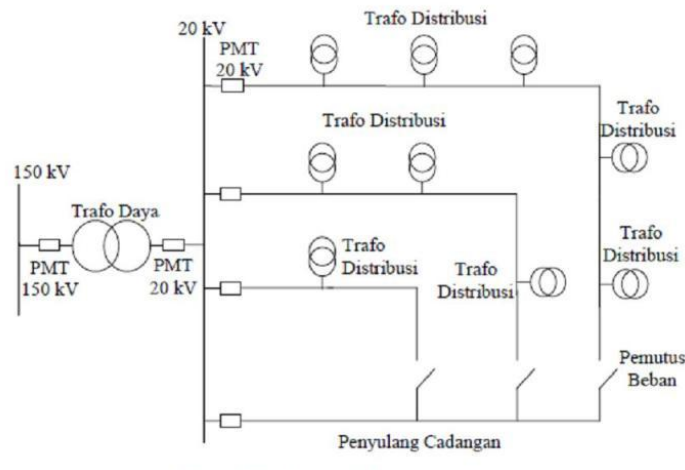
Sistem *spindle* adalah bentuk modifikasi dari sistem lingkaran (*loop/ring*) yang terdiri atas beberapa sistem radial. Dalam konfigurasi ini, terdapat sejumlah penyulang yang masing-masing berasal dari satu gardu induk dan berujung pada gardu hubung. Dengan demikian, sistem ini mengintegrasikan keunggulan sistem radial dan lingkaran untuk meningkatkan fleksibilitas dan keandalan dalam penyaluran daya listrik.



Gambar 3. Konfigurasi Jaringan Spindel[8]

3.1.1.4. Sistem gugus (*Mesh*)

Sistem distribusi dengan konfigurasi gugus umum diterapkan di daerah perkotaan yang memiliki kepadatan beban tinggi. Kehadiran penyulang cadangan dan saklar pemutus beban memungkinkan kontinuitas suplai listrik tetap terjaga saat terjadi gangguan pada penyulang utama.[9]



Gambar 4. Konfigurasi Jaringan Gugus[8]

2.2. Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Distribusi

Dalam proses pengiriman energi listrik dari sumber ke konsumen, terdapat rugi-rugi teknis dalam bentuk rugi daya, yang merupakan kehilangan energi akibat sifat alami dari material konduktor maupun peralatan listrik yang digunakan. Rugi daya ini terutama disebabkan oleh hambatan listrik yang melekat pada karakteristik bahan dan kualitas peralatan tersebut. Selain itu, besarnya kerugian daya pada sistem distribusi sangat bergantung pada konfigurasi jaringan distribusi yang diterapkan, karena struktur jaringan menentukan jalur aliran arus dan tingkat efisiensi penghantarannya.

Kerugian daya pada sistem tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, yakni kerugian daya teknis dan kerugian daya non-teknis. Kerugian daya teknis terjadi secara alami sebagai akibat dari sifat fisik jaringan transmisi dan distribusi serta karakteristik peralatan listrik yang digunakan. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya rugi-rugi teknis antara lain adalah ukuran penghantar yang

tidak sesuai, ketidakseimbangan beban antar fasa, buruknya regulasi tegangan, rendahnya faktor daya pada sisi beban, panjang jaringan distribusi yang berlebihan, ketidakseimbangan manajemen pembebanan transformator, penggunaan beban non-linier yang menghasilkan harmonik, minimnya perawatan peralatan, serta usia peralatan yang sudah melewati masa operasionalnya. Meskipun rugi-rugi teknis tidak dapat dihindari sepenuhnya, namun besarnya dapat diminimalkan melalui desain sistem yang baik dan pemeliharaan berkala.

Sementara itu, rugi-rugi daya non-teknis merujuk pada kehilangan energi listrik yang tidak berkaitan dengan kondisi fisik jaringan, melainkan disebabkan oleh faktor administratif dan perilaku pengguna. Rugi-rugi non-teknis terjadi ketika energi listrik digunakan namun tidak tercatat sebagai penjualan resmi oleh penyedia listrik. Hal ini dapat disebabkan oleh pencurian energi oleh konsumen, alat pengukur yang tidak terkalibrasi dengan benar, ketidaksesuaian standar peralatan pengukuran, serta sistem manajemen distribusi yang tidak tertata dengan baik. Untuk mengurangi rugi-rugi daya non-teknis, diperlukan penguatan pengawasan lapangan, pemutakhiran teknologi pengukuran, serta peningkatan kualitas tata kelola distribusi energi secara menyeluruh [10].

Kerugian daya pada jaringan distribusi radial dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

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

Dengan: $P_{rugi}(i, i + 1)$ = rugi-rugi saluran diantara bus i dan bus $i+1$.

Kerugian pada penyulang tersebut dinyatakan dengan:

$$P_{rugi}^{total} = \sum_{i=1}^{Nbranch} R_{i,i+1} \frac{P_i^2 + Q_i^2}{|V|^2} \quad (2)$$

Dimana:

$R_{i,i+1}$ = Hambatan di bus i dengan $i+1$

P_i = Daya aktif di bus i

Q_i = Daya reaktif di bus i [11].

2.3. Faktor Daya (*Power Factor*) Pada Sistem Distribusi

Faktor daya merupakan perbandingan antara daya nyata dan daya semu, yang berfungsi sebagai parameter penting dalam menilai sejauh mana suatu beban bekerja secara efisien dalam hubungannya dengan disipasi daya. Faktor ini didefinisikan sebagai berikut:

$$PF = \frac{P}{S} \quad (3)$$

Dengan demikian, faktor daya (*Power Factor*) didefinisikan sebagai perbandingan antara daya nyata (P , *Watt*) dan daya semu (S , *Volt-Ampere*). Dalam diagram daya, faktor daya direpresentasikan sebagai kosinus sudut fase yang terbentuk antara komponen daya nyata dan daya semu.

Faktor daya dapat ditulis menjadi:

$$PF = \frac{P}{VI} = \frac{\text{Daya nyata}}{\text{VoltAmpere}} \quad (4)$$

$$= \frac{P}{S} = \frac{S \cos \phi}{S} \quad (5)$$

Sehingga dapat ditulis menjadi:

$$PF = \cos \phi \quad (6)$$

Sudut ϕ merupakan sudut yang terbentuk antara daya nyata (P) dan daya semu (S), sementara daya reaktif (Q) berada tegak lurus terhadap daya nyata. Efisiensi penyaluran energi tercapai ketika nilai daya nyata mendekati daya semu, yaitu pada kondisi $\cos \phi = 1$. Sebaliknya, faktor daya yang rendah menyebabkan kerugian karena meningkatkan arus beban. Oleh karena itu, perbaikan faktor daya dilakukan dengan menyeimbangkan karakteristik kapasitif dan induktif dalam rangkaian [12].

2.4. Kapasitor Bank

Kapasitor bank adalah suatu rangkaian yang terdiri dari beberapa unit kapasitor yang dihubungkan dalam suatu sistem. Kapasitor bank banyak digunakan pada

sistem kelistrikan daya besar, dengan tujuan utama untuk memperbaiki faktor daya (*Power factor*).

Dalam sistem tenaga listrik, beban induktif cenderung menyerap daya reaktif, yang dapat menyebabkan penurunan tegangan pada sisi penerima. Oleh karena itu, pemasangan kapasitor bank di sisi beban merupakan salah satu strategi untuk memasok daya reaktif. Proses kompensasi dengan kapasitor bank ini mampu mengurangi penyerapan daya reaktif oleh beban, sehingga penurunan tegangan pada jaringan dapat ditekan. Penurunan tegangan pada penyulang, atau pada saluran transmisi pendek dengan faktor daya tertentu, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut: [13].

$$VD = I_R \cdot R + I_X X_L \quad (7)$$

Dimana:

VD = Penurun Tegangan (V)

R = Reaktansi total pada penyulang (ohm)

X_L = Reaktansi induktif total pada penyulang (ohm)

I_R = Komponen daya nyata dari arus (A)

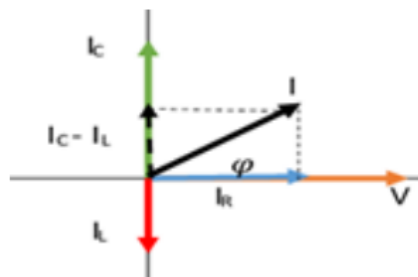
I_X = Komponen reaktif arus tertinggal (A)

Berdasarkan cara kerjanya, kapasitor bank dibedakan menjadi dua jenis:

1. Tipe tetap yaitu kapasitor bank yang memberikan beban kapasitif tetap pada sistem. Dalam jenis ini, nilai kapasitansi tidak berubah dan digunakan untuk beban yang relatif konstan.
2. Tipe otomatis, yaitu kapasitor bank yang dapat mengatur kapasitas kapasitif secara otomatis sesuai dengan kebutuhan sistem. Pada jenis ini, apabila terjadi perubahan beban, maka sistem *power factor correction (pfc)* akan secara otomatis menyesuaikan kapasitor untuk memperbaiki nilai faktor daya ($\cos \phi$).

Kapasitor bank memiliki peranan penting dalam meningkatkan kinerja sistem distribusi tenaga listrik. Perangkat ini berfungsi memberikan kompensasi terhadap kebutuhan daya reaktif pada motor maupun beban lain dengan faktor daya rendah, sehingga arus yang mengalir pada jaringan dapat berkurang. Penurunan arus tersebut berdampak pada menurunnya rugi-rugi daya (*power losses*) secara signifikan. Selain itu, kompensasi daya reaktif yang dihasilkan oleh kapasitor bank turut membantu memperbaiki profil tegangan pada jaringan distribusi, sehingga tegangan sistem menjadi lebih stabil. Dengan demikian, keberadaan kapasitor bank berkontribusi dalam meningkatkan efisiensi serta keandalan operasi sistem tenaga listrik secara keseluruhan.[11].

Untuk memahami peran kapasitor bank dalam mengompensasi daya reaktif, perlu ditinjau terlebih dahulu karakteristik arus dan tegangan pada rangkaian RLC. Analisis ini dapat dijelaskan dengan menggunakan diagram fasor, yang menggambarkan hubungan fase antara arus dan tegangan pada setiap komponen.



Gambar 5. Diagram Fasor Rangkaian RLC Paralel [14]

Pada rangkaian RLC paralel, meskipun tegangan yang diberikan pada masing-masing komponen resistor (R), induktor (L), dan kapasitor (C) adalah sama, namun arus yang mengalir pada setiap komponen memiliki karakteristik yang berbeda. Hal ini dapat digambarkan melalui diagram fasor. Arus yang melalui resistor (I_R) sefase dengan tegangan sumber (V). Sementara itu, arus yang mengalir pada induktor (I_L) tertinggal terhadap tegangan dengan pergeseran fase sebesar $+90^\circ$, sehingga dapat dikatakan bahwa tegangan mendahului arus. Sebaliknya, arus pada kapasitor (I_C)

mendahului tegangan dengan selisih fase sebesar -90° . Perbedaan karakteristik arus inilah yang menjadi dasar analisis perilaku rangkaian RLC paralel.

2.5. Aliran Daya

Studi aliran daya (*load flow study*) merupakan analisis yang bertujuan untuk memahami distribusi aliran daya listrik dalam suatu sistem tenaga, mencakup perpindahan daya dari satu titik ke titik lainnya serta besaran tegangan pada setiap bus dalam jaringan. Studi ini melibatkan perhitungan tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, dan faktor daya pada berbagai titik dalam sistem tenaga listrik, dalam kondisi operasi normal. Analisis ini penting untuk mengetahui kondisi operasi sistem saat ini maupun untuk merencanakan kondisi operasi yang diharapkan di masa mendatang [15]. Analisis aliran daya dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan (V) serta sudut fasanya pada setiap simpul atau bus dalam sistem tenaga listrik. Pada dasarnya, setiap bus dalam jaringan memiliki empat parameter utama, yaitu daya aktif (P), daya reaktif (Q), besar tegangan (V), dan sudut tegangan (θ). Berdasarkan karakteristik besaran tersebut, bus dalam sistem tenaga dapat dikategorikan ke dalam beberapa jenis sebagai berikut:

Generator bus (bus generator / pv bus)

Bus ini juga dikenal sebagai node pv, di mana daya aktif (P) dan besar tegangan (v) ditentukan dan dikendalikan. Generator sinkron dan kondensor sinkron biasanya dimodelkan dengan tipe node ini. Dengan mengatur arus medan pada generator sinkron, besar tegangan dapat dipertahankan konstan pada nilai tertentu.

Load bus (bus beban / pq bus)

Bus PQ, atau sering disebut sebagai *load bus*, merupakan jenis bus di mana besaran daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) telah ditetapkan sebelumnya. Bus ini umumnya merepresentasikan beban atau unit peralatan listrik yang memiliki karakteristik daya tetap. Pada beberapa model analisis, nilai beban tersebut dapat bervariasi dari kondisi awal (P_0 dan Q_0) sesuai dengan perubahan tegangan pada bus tempat beban terhubung.

Slack bus (bus referensi)

Slack bus adalah bus di mana besar tegangan (V) dan sudut tegangan ditentukan secara tetap. Bus ini digunakan sebagai referensi sistem untuk menyeimbangkan total daya dalam jaringan.

Device nodes (bus perangkat khusus)

Bus ini digunakan untuk merepresentasikan peralatan khusus, seperti konverter, *Static VAR Systems* (SVS), dan peralatan lainnya yang memerlukan pemodelan khusus dalam sistem tenaga [16].

Studi aliran daya mempunyai tiga metode penyelesaian, yaitu metode *Gauss-Seidel*, *Newton-Raphson* dan *Fast-Decouple*. Metode *Newton-Raphson* sering digunakan karena lebih efisien dan praktis pada sistem yang luas. Langkah awal penyelesaian analisis aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson* adalah membentuk matriks admitansi (Y bus) seperti persamaan 8 [17].

$$Y_{ij} = \frac{1}{Z_{ij}} = \frac{1}{r_{ij} + jX_{ij}} \quad (8)$$

Arus yang masuk menuju bus i adalah

$$I_i = \sum_{j=1}^n V_j Y_{ij} \quad (9)$$

Arus yang masuk menuju bus I dapat ditulis dalam bentuk polar seperti persamaan 10

$$I_i = \sum_{j=1}^n |V_j| |Y_{ij}| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (10)$$

Daya aktif dan daya reaktif pada bus i adalah

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (11)$$

Substitusi persamaan (9) ke (10)

$$P_i - jQ_i = |V_i^*| \angle \delta_i \sum_{j=1}^n |V_j| |Y_{ij}| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (12)$$

Kemudian daya aktif dan reaktif dipisahkan menjadi bagian riil dan imajiner,

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (13)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (14)$$

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

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

2.6. Political Optimizer

Algoritma *Political Optimizer* (PO) merupakan pendekatan metaheuristik baru yang terinspirasi oleh proses politik multi-tahap dalam sistem demokrasi, khususnya sistem multi-partai. *Political Optimizer* (PO) terdiri dari lima fase utama yang merepresentasikan dinamika sistem politik. Fase pertama adalah pembentukan partai dan alokasi daerah pemilihan, yang dilakukan satu kali sebagai tahap inisialisasi. Pada tahap ini, solusi awal dibentuk melalui pengelompokan kandidat ke dalam beberapa partai dan distribusi ke berbagai daerah pemilihan secara sistematis, yang bertujuan untuk menciptakan basis keberagaman dan persaingan antar solusi.

Pada fase kedua, yaitu kampanye pemilihan, kandidat berupaya memperoleh dukungan dari daerah pemilihan(konstituen) dengan cara mengubah posisi dan status solusi sebagai indikasi usaha mereka dalam meningkatkan daya saing dan peluang keberhasilan dalam proses seleksi tersebut.

Selanjutnya, fase ketiga melibatkan pergantian partai (*party switching*), di mana solusi secara dinamis dapat melakukan perubahan partai untuk meningkatkan posisi kompetitifnya, meniru perilaku politik nyata di mana politisi berpindah partai demi meningkatkan peluang kemenangan.

Fase keempat adalah pemilihan antar partai, di mana konstituen menilai dan memilih kandidat terbaik dari berbagai partai berdasarkan kriteria tertentu, sehingga menghasilkan solusi yang paling optimal secara kolektif.

Terakhir, dalam fase urusan parlemen, kandidat yang berhasil memenangkan pemilihan, membentuk parlemen dan berkolaborasi dalam kerangka kekuatan politik yang kompetitif, yang dalam konteks optimalisasi berarti pembentukan solusi akhir yang optimal melalui proses kolaboratif dan kompetitif [18].

2.6.1. Pemodelan Matematis Dan Algoritma Optimasi

Dalam subbagian ini, dijelaskan bagaimana setiap fase sistem politik multi-partai dimodelkan secara matematis untuk mengusulkan algoritma baru dengan pemetaan dibuat sangat sederhana.

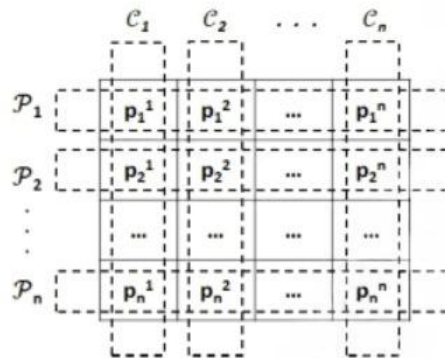
2.6.1.1. Pembentukan partai dan alokasi konstituensi (daerah pemilihan)

Dalam tahap inisialisasi algoritma *Political Optimizer* (PO), populasi solusi dibagi secara logis menjadi n partai politik, di mana masing-masing partai terdiri dari n anggota atau kandidat solusi. Setiap individu dalam populasi tidak hanya berperan sebagai anggota partai, tetapi juga bertindak sebagai kandidat pemilu, sehingga populasi juga terbagi ke dalam n konstituensi. Dengan demikian, satu kandidat dari masing-masing partai bersaing dalam satu konstituensi, membentuk struktur kompetisi yang seimbang. Proses ini divisualisasikan dalam Gambar 6.

Dalam implementasi *Political Optimizer* (PO), struktur pemetaan ini disederhanakan dengan hanya menggunakan satu parameter utama, yaitu n , yang menentukan:

- (1) jumlah partai politik,
- (2) jumlah kandidat dalam setiap partai, dan

(3) jumlah konstituensi (daerah pemilihan) dalam sistem.



Gambar 6. Ilustrasi Pembagian Logis Penduduk P Dalam Partai Politik Dan Daerah Pemilihan

Selain itu, pemilihan umum dilakukan secara serentak, di mana setiap kandidat hanya bersaing di satu konstituensi tertentu, sehingga setiap konstituensi akan menghasilkan satu pemenang.

2.6.1.2. Kampanye pemilu

Pada algoritma *Political Optimizer* (PO), fase kampanye pemilu digunakan untuk memperbarui posisi setiap solusi (disebut juga kandidat) dalam ruang pencarian, sebelum dilakukan perhitungan nilai *fitness*. Tujuan dari pembaruan posisi ini adalah agar solusi dapat bergerak menuju posisi yang lebih baik dalam proses optimasi.

Setiap solusi akan melakukan dua langkah utama dalam proses ini:

- (1) solusi memperbarui posisinya dengan mengacu pada pemimpin partainya, yaitu solusi terbaik di partai tersebut.
- (2) solusi kembali memperbarui posisinya dengan mengacu pada pemenang dikonstituensinya, yaitu solusi terbaik di antara kandidat lain yang bersaing di konstituensi yang sama.

Selain itu, algoritma *Political Optimizer* juga meniru proses pembelajaran dari pengalaman sebelumnya, seperti dalam dunia nyata ketika kandidat politik

memperbaiki strategi berdasarkan hasil pemilu sebelumnya. Dalam hal ini, PO menggunakan posisi kandidat pada iterasi sebelumnya sebagai salah satu acuan dalam rumus pembaruan posisi. Artinya, jika performa solusi di iterasi sebelumnya lebih baik, maka arah pergerakan akan disesuaikan.

Semua proses ini dirumuskan secara matematis dalam Persamaan (15) dan (16).

$$p_{i,k}^j(t+1) = \begin{cases} m^* + r(m^* - p_{i,k}^j(t)), & \text{if } p_{i,k}^j(t-1) \leq p_{i,k}^j(t) \leq m^* \text{ or } p_{i,k}^j(t-1) \geq p_{i,k}^j(t) \geq m^* \\ m^* + (2r-1)|m^* - p_{i,k}^j(t)|, & \text{if } p_{i,k}^j(t-1) \leq m^* \leq p_{i,k}^j(t) \text{ or } p_{i,k}^j(t-1) \geq (t-1) \geq m^* \geq p_{i,k}^j(t) \\ m^* + (2r-1)|m^* - p_{i,k}^j(t-1)|, & \text{if } m^* \leq p_{i,k}^j(t-1) \leq p_{i,k}^j(t) \text{ or } m^* \geq p_{i,k}^j(t-1) \geq p_{i,k}^j(t) \end{cases} \quad (15)$$

$$p_{i,k}^j(t+1) = \begin{cases} m^* + (2r-1)|m^* - p_{i,k}^j(t)|, & \text{if } p_{i,k}^j(t-1) \leq p_{i,k}^j(t) \leq m^* \text{ or } p_{i,k}^j(t-1) \geq p_{i,k}^j(t) \geq m^* \\ p_{i,k}^j(t-1) + r(p_{i,k}^j(t) - p_{i,k}^j(t-1)), & \text{if } p_{i,k}^j(t-1) \leq m^* \leq p_{i,k}^j(t) \text{ or } p_{i,k}^j(t-1) \geq (t-1) \geq m^* \geq p_{i,k}^j(t) \\ m^* + (2r-1)|m^* - p_{i,k}^j(t-1)|, & \text{if } m^* \leq p_{i,k}^j(t-1) \leq p_{i,k}^j(t) \text{ or } m^* \geq p_{i,k}^j(t-1) \geq p_{i,k}^j(t) \end{cases} \quad (16)$$

Dimana:

$p_{i,k}^j(t)$: nilai variable ke- k dari anggota ke- j pada partai ke- i di iterasi ke- t .

p_i^* : pemimpin dari partai ke- i

c_j^* : Pemenang konstituen ke- j

m^* : Nilai referensi (bisa berasal dari pemimpin partai atau pemenang konstituen)

f : fungsi objektif yang digunakan untuk menghitung nilai *fitness* Solusi.

2.6.1.3. Pergantian partai

Fase ini meniru konsep perpindahan partai dalam politik nyata. Anggota partai p_i^j ditukar dengan anggota q yang paling tidak cocok ditukar secara acak pihak yang dipilih dengan probabilitas λ , probabilitas λ dihitung secara berikut:

$$\lambda = \left(1 - \frac{t}{T}\right) * \lambda_{max} \quad (17)$$

dimana t menunjukkan iterasi saat ini, T menunjukkan iterasi maksimal, dan λ_{max} biasanya diinisialisasi dengan 1. Indeks q dari anggota yang paling tidak cocok dari pihak r yang dipilih secara acak ditentukan sebagai berikut:

$$q = \underset{1 \leq j \leq n}{\operatorname{argmax}} f(p_r^j) \quad (18)$$

2.6.1.4. Pemilihan

Fase pemilihan antar partai dipetakan melalui fungsi objektif. Kesesuaian atau *fitness* dari setiap solusi kandidat dipandang sebagai jumlah suara yang diperoleh oleh kandidat dalam pemilihan. Semakin baik *fitness*-nya, semakin banyak suara yang diperoleh. Di setiap konstituensi, kandidat dengan *fitness* terbaik diumumkan sebagai pemenang konstituensi tersebut. Sebagai contoh c_j^* menunjukkan pemenang dari konstituen ke- j^{th} . Dalam fase pemilihan ini, pemimpin partai dan pemenang konstituensi diperbarui. Perlu dicatat bahwa pemimpin partai dari partai ke- i dapat dihitung menggunakan Persamaan (19).

$$q = \underset{1 \leq j \leq n}{\operatorname{argmin}} f(p_i^j) p_i^* = p_i^q \quad (19)$$

Dimana n menunjukkan total jumlah konstituensi, p_i^* menyatakan pemimpin dari partai ke- i^{th} , dan $f(p_i^j)$ menghitung nilai kecocokan (*fitness*) dari solusi p_i^j . Pemenang dari konstituensi ke- j^{th} dapat dihitung menggunakan Persamaan (20)

$$q = \underset{1 \leq i \leq n}{\operatorname{argmin}} f(p_i^j) c_j^* = p_q^j \quad (20)$$

Dimana n menunjukkan total jumlah partai, c_i^* adalah pemenang dari konstituen ke- j^{th} , dan $f(p_j^j)$ menghitung nilai kecocokan (*fitness*) dari solusi p_j^j .

2.6.1.5. Urusan parlementer

Setelah berlangsungnya pemilihan antar partai, pemenang-pemenang tersebut menjadi anggota parlemen dan menjalankan pemerintahan. Setiap pemenang konstituensi memperbarui posisinya terhadap pemenang konstituensi yang dipilih secara acak, sesuai dengan persamaan berikut:

$$c_i^*(t+1) = c_r^*(t) + (2a-1)|c_r^*(t) - c_j^*(t)| \quad (21)$$

Dimana:

- c_i^* adalah pemenang dari konstituen ke- j yang sedang diperbarui.
- c_r^* adalah pemenang dari konstiruksi yang dipilih secara acak.
- a adalah bilangan acak yang dihasilkan dalam rentang $[0,1]$.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dimulai sejak Mei 2025 dan selesai pada November 2025, bertempat di Laboratorium Sistem Tenaga Listrik (STL) Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dengan waktu penelitian seperti ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Waktu Penelitian

NO	Kegiatan	Bulan											
		Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November					
1	Studi literatur dan imbingn												
2	Pembuatan Proposal												
3	Seminar Proposal												
4	Pengumpulan data												
5	Pengelola data												
6	Pembuatan program												
7	Penyusunan Laporan												
8	Seminar Hasil												
9	Ujian Komprehensif												

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut:

1. Satu unit laptop dengan Spesifikasi Prosessor Intel(R) Core (TM) i3-1005G1 CPU @ 1.20GHz 1.19 GHz, Ram 12.0 GB, SSD 466 GB, Edisi Windows 11 pro sebagai media perencanaan dan simulasi.

2. Software MATLAB R2021a sebagai perangkat lunak untuk pembuatan dan simulasi program.
3. *Toolbox* Matpower 6.0 sebagai perangkat lunak untuk perhitungan aliran daya.
4. Data Penyulang Patin pada GI Metro
5. Software Microsoft Excel sebagai penyimpanan data.

3.3. Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian tugas akhir ini adaah sebagai berikut:

1. Kajian Literatur

Kajian literatur dilakukan guna memperoleh dasar teori mengenai sistem distribusi tenaga listrik, rugi-rugi daya, penempatan kapasitor, serta algoritma optimasi seperti *Political Optimizer*. Referensi diperoleh dari jurnal ilmiah internasional, buku teknik elektro, serta dokumen hasil penelitian terdahulu.

2. Studi Bimbingan

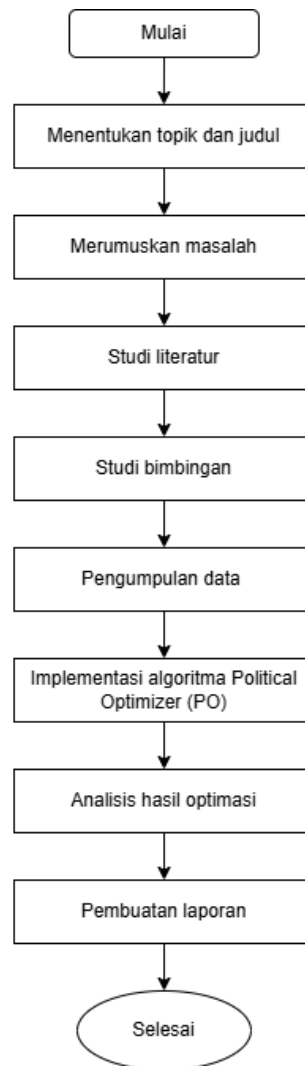
Studi bimbingan dilakukan secara berkala dengan dosen pembimbing guna mendiskusikan perkembangan penelitian, penguatan landasan teori, serta validasi metode yang digunakan. Bimbingan juga bertujuan agar penulisan dan isi skripsi tetap konsisten dan terarah.

3. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Tahap ini dilakukan melalui simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP untuk memperoleh parameter sistem distribusi seperti beban, impedansi saluran, serta profil tegangan awal. Selanjutnya, data diolah menggunakan MATLAB dengan penerapan metode *Political Optimizer* guna memperoleh konfigurasi jaringan dan penempatan kapasitor yang optimal.

3.4. Diagram Alir

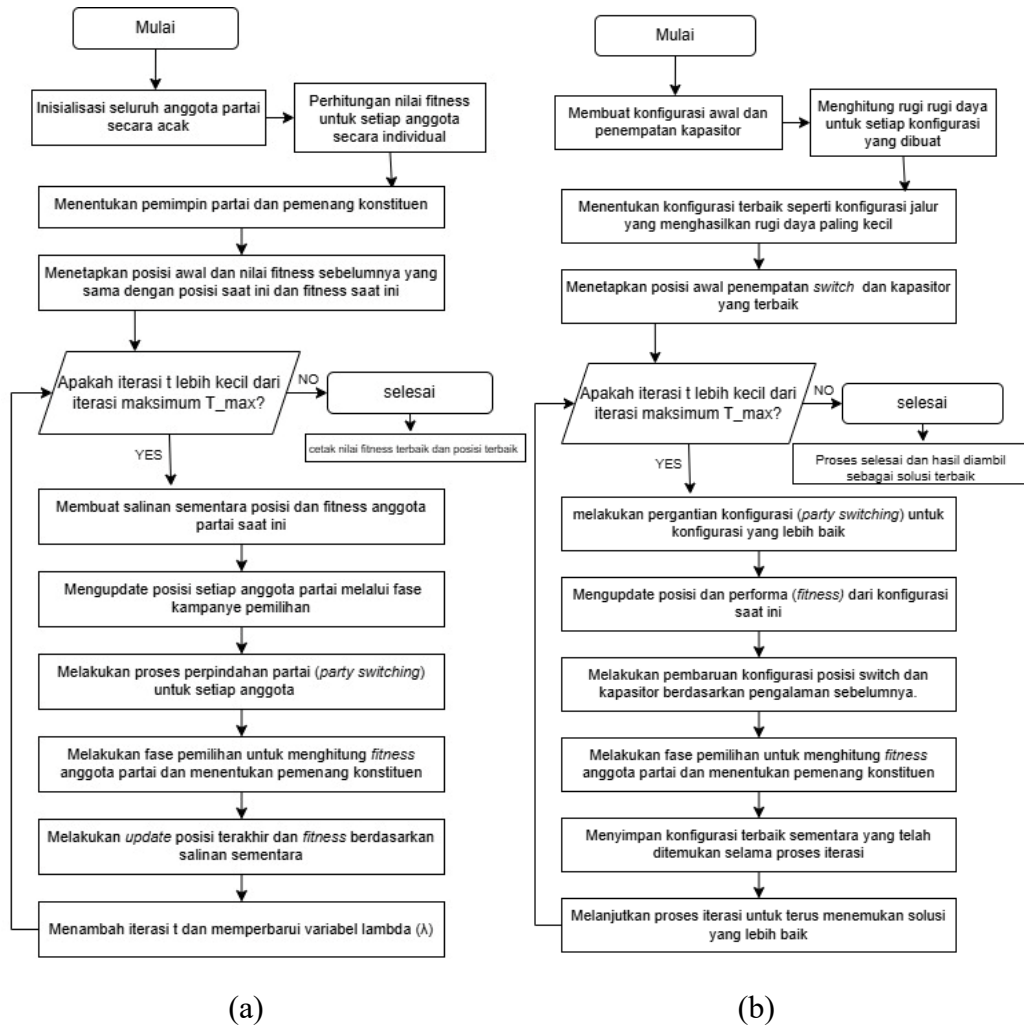
Adapun diagram alir pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

3.5. Diagram Alir Metode *Political Optimizer* (PO)

Adapun diagram alir simulasi metode *Political Optimizer* (PO) yang dirancang dengan menggunakan perangkat lunak matlab untuk menyelesaikan rekonfigurasi jaringan dan penempatan kapasitor adalah sebagai berikut:



Gambar 8. (a) Diagram Alir Metode *Political Optimizer* (PO) Secara Umum, (b) Diagram Alir Metode *Political Optimizer* (PO) Secara Jaringan Penelitian.

3.6. Formulasi Masalah

Tahap formulasi masalah dilakukan untuk menyusun model matematis dari permasalahan optimasi pada sistem distribusi radial, yang meliputi rekonfigurasi penyulang dan penempatan kapasitor maksimal dua unit, dengan tujuan mengurangi rugi-rugi daya aktif.

3.6.1. Fungsi Objektif

Fungsi objektif dari penelitian ini adalah meminimalkan total rugi-rugi daya aktif pada saluran distribusi, yang secara matematis dituliskan sebagai:

$$P_{lossestotal} = \sum_{i=1}^{Nbranch} R_{i,i+1} \frac{P_i^2 + Q_i^2}{|V|^2} \quad (22)$$

Jika dipasang kapasitor pada bus k , maka daya reaktif bersih di bus i menjadi:

$$Q_i^{net} = Q_i^L - Q_i^{cap} \quad (23)$$

Sehingga fungsi objektifnya:

$$P_{lossestotal} = \sum_{i=1}^{Nbranch} R_{ij} \frac{P_i^2 + (Q_i^L - Q_i^{cap})^2}{|V|^2} \quad (24)$$

3.6.2. Batasan

Pada penelitian ini, jaringan distribusi yang dianalisis dibatasi dalam bentuk konfigurasi radial, sehingga tidak diperkenankan adanya pembentukan loop. Selain itu, batasan lain yang diterapkan adalah kondisi tegangan pada sistem harus berada dalam rentang yang diizinkan sesuai standar operasional.

$$V_{min} \leq |V_i| \leq V_{max} \quad (25)$$

Dengan standar:

$$0.95 \text{ p.u} \leq |V_i| \leq 1.05 \text{ p.u} \quad (26)$$

Kemudian untuk batas penempatan kapasitor yaitu $Nc = 2$ atau hanya menggunakan 2 kapasitor dengan batas kapasitor seperti:

$$50 \text{ kVar} \leq q_i \leq 400 \text{ kVar} \quad (27)$$

Dengan q_i merupakan besaran kapasitas kapasitor yang di pasang di bus i .

3.7. Simulasi Rekonfigurasi Menggunakan Metode *Political Optimizer* (PO)

Tujuan dari simulasi ini adalah memperoleh konfigurasi optimal jaringan distribusi beserta penempatan kapasitor yang efektif dalam mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan profil tegangan sistem pada Penyulang Patin. Simulasi dilakukan dengan mengubah *tie switch* menjadi *sectionalizing switch* setiap saluran yang akan membentuk *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 konfigurasi optimal dilakukan dengan cara mengubah status *sectionalizing switch* yang dipilih menjadi *tie switch*, sehingga satu bagian saluran pada setiap loop akan terbuka. Hal ini dilakukan karena, pada kondisi operasi normal, jaringan distribusi harus tetap mempertahankan bentuk radial. Setelah konfigurasi optimal *tie switch* diperoleh, tahap berikutnya adalah penempatan kapasitor shunt pada bus tertentu. Penempatan kapasitor ini dimaksudkan untuk menyuplai daya reaktif secara lokal, sehingga dapat memperbaiki profil tegangan bus dan sekaligus menurunkan rugi-rugi daya pada sistem distribusi.

Pada kasus sistem Penyulang Patin diketahui membentuk 5 loop pada sistem, maka dari itu penyelesaian menggunakan metode *Political Optimizer* (PO) masing-masing memiliki 5 dimensi ruang pencarian. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. loop atau dimensi ruang pencarian kasus sistem Penyulang Patin

<i>Loop</i> /Dimensi	Saluran
1	9-14-17-18-20-22-85
2	21-25-28-29-45-41-40-35-86
3	12- 15-55-57-60-61-87
4	65-66-88
5	72-73-74-75-76-89

Fungsi objektif dalam penelitian ini adalah memperoleh rugi-rugi daya aktif yang paling minimal serta menentukan penempatan kapasitor yang optimal berdasarkan hasil perhitungan aliran daya menggunakan perangkat lunak Matpower 6.0. Program simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB R2021a. Prosedur simulasi menggunakan metode *Political Optimizer* dijelaskan sebagai berikut:

1. Menentukan saluran baru pada jaringan distribusi (kandidat saluran baru yang membentuk jaringan looping di jaringan distribusi).
2. Menentukan parameter dari simulasi *Political Optimizer* (PO):

- Fungsi evaluasi maksimum (jumlah kemungkinan kombinasi konfigurasi jaringan dan penempatan kapasitor yang akan dievaluasi selama proses optimasi)
 - Menentukan daerah pemilihan (menentukan penempatan kapasitor dan jalur *switch* yang aktif/nonaktif)
 - Menentukan Jumlah partai (total loop dan penempatan kapasitor)
 - Menentukan anggota partai (*search agent*), dengan rumus = jumlah partai dikali daerah pemilihan
 - Menghitung iterasi maximum dengan rumus: (fungsi evaluasi maksimum/ (anggota partai + daerah pemilihan)
 - Menentukan jumlah iterasi maximum
3. Membentuk batas atas dan batas bawah.
 4. Menginisiasi matriks anggota partai.
 5. Menghitung *fitness* untuk setiap anggota partai.
 Jika nilai *fitness* anggota partai yang sekarang lebih kecil dari nilai *fitness* sebelumnya, maka nilai anggota partai tersebut disimpan. jika tidak, maka nilai *fitness* anggota sebelumnya disimpan. Hitung nilai *fitness* untuk semua anggota partai. Dan simpan nilai *fitness* anggota partai terkecil.
 6. Melakukan langkah metode *Political Optimizer* seperti pada persamaan 5 sampai 21.
 7. Lakukan iterasi berikutnya dan hitung nilai *fitness* untuk semua anggota partai serta menyimpan nilai *fitness* terkecil, dan lakukan metode *Political Optimizer* seperti langkah 6.
 8. Mengulangi langkah 7 sampai iterasi maksimum, jika iterasi maksimum telah dicapai maka tentukan nilai *fitness* terkecil dari anggota partai.

V. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan pada penelitian ini adalah:

1. Rekonfigurasi jaringan hasil optimasi menggunakan metode *Political Optimizer (PO)* berdasarkan nilai tegangan terendah pada bus sehingga dapat menentukan kombinasi saklar penghubung (*tie switch*) dan lokasi kapasitor optimal pada sistem Penyulang Patin di Gardu Induk Metro, sehingga mampu meminimalkan kerugian daya listrik sekaligus memperbaiki profil tegangan pada bus.
2. Berdasarkan hasil simulasi menunjukkan bahwa penerapan rekonfigurasi jaringan melalui pengaturan posisi *tie switch* pada bus 22, 66, 76, 86, dan 87 mampu menurunkan total rugi-rugi daya aktif dari 77,3929 kW menjadi 75,4744 kW. Selanjutnya, setelah dilakukan kombinasi antara rekonfigurasi dan penempatan kapasitor berkapasitas 400 kVAr pada bus 18 dan 27, rugi-rugi daya aktif berkurang lebih lanjut hingga mencapai 67,4816 kW. Secara keseluruhan, terjadi penurunan rugi-rugi daya sekitar 12,81% dibandingkan kondisi awal, yang membuktikan bahwa strategi optimasi melalui rekonfigurasi jaringan dan kompensasi daya reaktif menggunakan kapasitor bank efektif dalam meningkatkan efisiensi sistem distribusi tenaga listrik.

5.2. Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini masih fokus pada minimasi rugi-rugi dan perbaikan tegangan. Penelitian selanjutnya bisa dikembangkan ke model *multi-objective* yang juga

mempertimbangkan keandalan sistem (SAIDI/SAIFI), kapasitas cadangan, atau bahkan integrasi energi terbarukan (misalnya PV distribusi)

2. Penelitian selanjutnya disarankan mengkaji kelayakan ekonomi dengan membandingkan biaya investasi infrastruktur terhadap penghematan operasional dari reduksi *losses*, mengingat perbedaan jarak lintasan beberapa jalur baru yang dioperasikan, guna menentukan pendekatan optimal secara ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. A. Pringsewu, D. Kisworo, A. P. Utomo, Y. A. Saputra, and A. Stefanie, "Volume 7 Issue 1 Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering ANALISIS RUGI-RUGI DAYA PADA PENYULANG SUKAMULYA DI PT PLN (PERSERO) UP3 PURWAKARTA DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering Aisyah," vol. 7, no. 1, pp. 46–54.
- [2] S. Yunus, H. D. Laksono, and P. Nidya, "Memperbaiki Tegangan dan Rugi-rugi Daya pada Sistem Transmisi dengan Optimasi Penempatan Kapasitor menggunakan Algoritma Genetika," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 2, 2016, doi: 10.20449/jnte.v5i2.291.
- [3] M. Harbi Rai Pangestu, "Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Untuk Meminimalisasi Rugi-Rugi Daya Dengan Menggunakan Metode Grey Wolf Optimizer (GWO)," *Electrician*, vol. 16, no. 3, pp. 238–246, 2022, doi: 10.23960/elc.v16n3.2262.
- [4] E. Romero Ramos, J. L. Martínez-Ramos, A. Gómez Expósito, and A. J. Urbano Salado, "Optimal reconfiguration of distribution networks for power loss reduction," *2001 IEEE Porto Power Tech Proc.*, vol. 3, no. 6, pp. 320–324, 2001, doi: 10.1109/PTC.2001.964930.
- [5] P. Doloksaribu, "Analisa Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik," *J. Tek. Elektro Univ. Cendrawasih*, vol. 1, no. 1, pp. 20–24, 2010.
- [6] Lily S. P. G. M. C. M. Rahmat Alfath sudiro, "Analisa Rugi – Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Tenaga Listrik Kotamobagu Dan Perbaikan," *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 6, no. 2, pp. 1–8, 2017.
- [7] S. Sabiq, O. Penangsang, and R. S. Wibowo, "Estimasi Kerugian Energi Jaringan Distribusi Radial pada Penyulang NR 7 20 kV Kota Medan Menggunakan Loss Factor," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i2.24069.
- [8] E. Sopyandi, "Tipe-tipe Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 KV," WordPress.com. Accessed: Oct. 12, 2025. [Online]. Available: <https://electricdot.wordpress.com/2011/08/16/tipe-tipe-jaringan-distribusi-tegangan-menengah/>
- [9] J. Teknologi and E. Uda, "Analisis Peningkatan Kinerja Jaringan Distribusi 20Kv Dengan Metode Thermovisi Jaringan Pt. Pln (Persero) Ulp Medan Baru," *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 1, pp. 8–19, 2020.
- [10] J. Prasetyo Pilat and H. Tumaliang, "Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Distribusi 20 Kv Di Kabupaten Kepulauan Sangihe," *J. Josua Prasetyo Pilat*, pp. 1–6, 2022.
- [11] K. elvredo Banjar nahor, O. Zebua, and L. Hakim, "Penentuan Lokasi dan Kapasitas Kapasitor Bank pada Jaringan Distribusi Penyulang Americano

- untuk Meminimalkan Rugi-Rugi Daya dengan Metode Grey Wolf Optimizer (GWO),” *Electr. J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 1, pp. 100–107, 2023, doi: 10.23960/elc.v17n1.2376.
- [12] D. A. Basudewa, “Analisa Penggunaan Kapasitor Bank terhadap Faktor Daya Pada Gedung IDB Laboratory UNESA,” *J. Tek. Elektro*, vol. 09, no. 03, pp. 697–707, 2020.
- [13] A. N. Rosihan, “Optimasi Penempatan Kapasitor Untuk Memperbaiki Profil Tegangan dan Mereduksi Rugi-Rugi Daya pada Jaringan Distribusi 20kV Penyulang Lambitu , Kalampa , dan,” *Skripsi thesis, Inst. Teknol. Nas. Malang*, 2023, [Online]. Available: <http://eprints.itn.ac.id/id/eprint/13238>
- [14] R. F. Muldiani, K. Hadiningrum, and D. Pratama, “Comparative Analysis of Experimental Testing and Simulation of the Inductance Effect in the RLC Circuit toward the Power Factor Value,” vol. 198, no. Issat, pp. 379–383, 2020, doi: 10.2991/aer.k.201221.062.
- [15] A. Hasibuan, M. Isa, M. I. Yusoff, and S. R. A. Rahim, “Analisa Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Metode Fast Decoupled Menggunakan Software Etap,” *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 1, pp. 37–45, 2020, doi: 10.30596/rele.v3i1.5236.
- [16] K. Loji, I. E. Davidson, and R. Tiako, “Voltage Profile and Power Losses Analysis on a Modified IEEE 9-Bus System with PV Penetration at the Distribution Ends,” *Proc. - 2019 South. African Univ. Power Eng. Conf. Mechatronics/Pattern Recognit. Assoc. South Africa, SAUPEC/RobMech/PRASA 2019*, pp. 703–708, 2019, doi: 10.1109/RoboMech.2019.8704802.
- [17] H. Saadat, “Power System Analysis - Hadi Saadat.pdf,” 1999.
- [18] Q. Askari, I. Younas, and M. Saeed, “Political Optimizer: A novel socio-inspired meta-heuristic for global optimization,” *Knowledge-Based Syst.*, vol. 195, p. 105709, 2020, doi: 10.1016/j.knosys.2020.105709.