



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU

Oleh :

YUDHA BHUANA

11850514704

IMPLEMENTASI ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION UNTUK PENENTUAN LOKASI OPTIMAL RECLOSER PADA JARINGAN DISTRIBUSI LISTRIK DI GARDU INDUK GARUDA SAKTI PEKANBARU

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Prodi
Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU**

2025

LEMBAR PERSETUJUAN

**IMPLEMENTASI ALGORITMA *ANT COLONY OPTIMIZATION* UNTUK
PENENTUAN LOKASI OPTIMAL *RECLOSER* PADA JARINGAN
DISTRIBUSI LISTRIK DI GARDU INDUK
GARUDA SAKTI PEKANBARU**


TUGAS AKHIR

oleh:

YUDHA BHUANA
11850514704

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik
Elektro di Pekanbaru, pada tanggal 11 Juli 2025

Ketua Prodi Teknik Elektro



Dr. Zulfatri Aini. S.T., M.T.
NIP. 19721021 200604 2 001

Pembimbing



Oktaf Brilliant Kharisma. S.T., M.T.
NIP. 19750922 2009 2 2002

LEMBAR PENGESAHAN

**IMPLEMENTASI ALGORITMA *ANT COLONY OPTIMIZATION* UNTUK
PENENTUAN LOKASI OPTIMAL *RECLOSER* PADA JARINGAN
DISTRIBUSI LISTRIK DI GARDU INDUK
GARUDA SAKTI PEKANBARU**

TUGAS AKHIR

oleh :

YUDHA BHUANA
11850514704

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji sebagai
salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada tanggal 11 Juli 2025

Pekanbaru, 11 Juli 2025

Mengesahkan,



Dr. Yuslenita Muda, S.Si., M.Sc
NIP. 19770103 200710 2 001

Ketua Prodi Teknik Elektro

Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T
NIP. 19721021 200604 2 001

DEWAN PENGUJI:

Ketua : Jufrizel, S.T., M.T
Sekretaris : Oktaf Brilliant Kharisma, S.T., M.T
Anggota 1 : Dr. Harris Simaremare, S.T., M.T
Anggota 2 : Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom



LEMBAR HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan dengan mengikuti kaidah pengutipan yang berlaku.

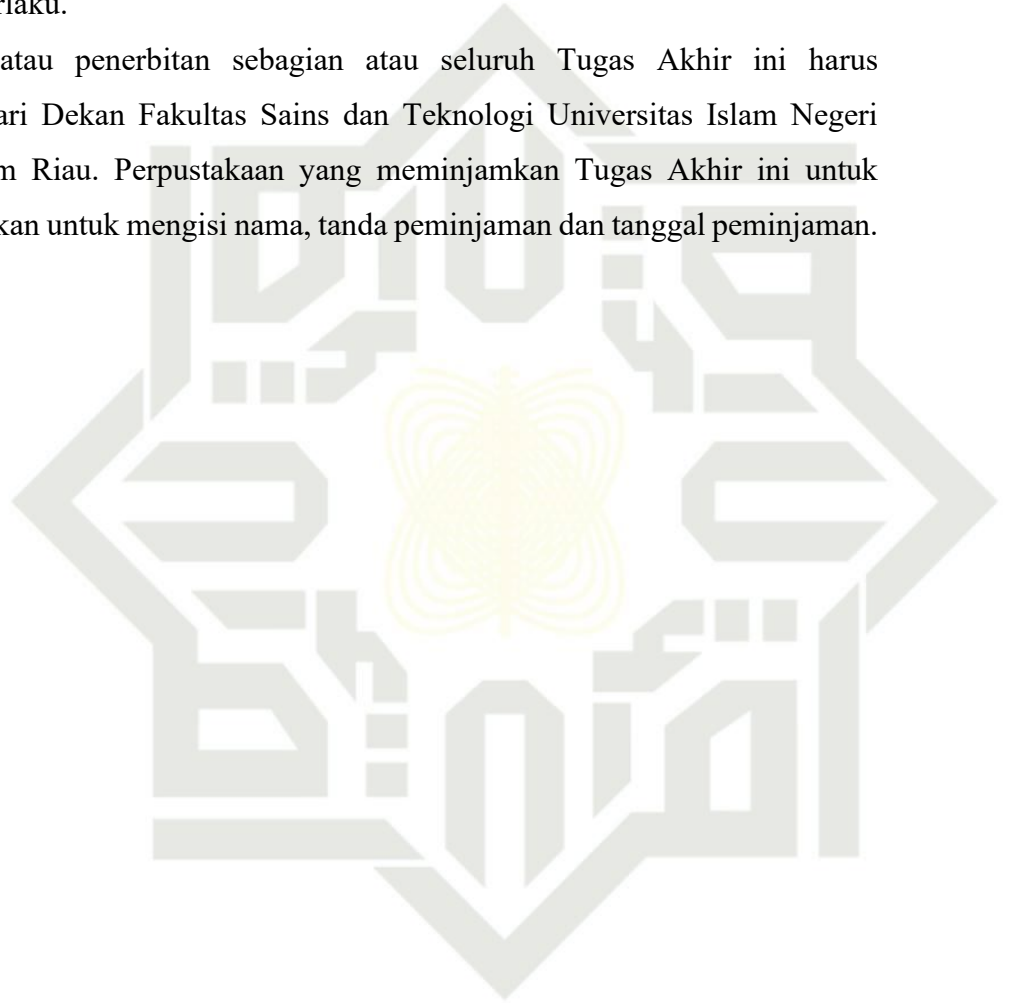
Pengadaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal peminjaman.

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU



- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : YUDHA BHUANA

NIM : 11850514704

Tempat/tanggal Lahir : Pekanbaru, 01 Januari 2001

Fakultas : Sains dan Teknologi

Prodi : Teknik Elektro

Judul Tugas Akhir :

IMPLEMENTASI ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION UNTUK PENENTUAN LOKASI OPTIMAL RECLOSER PADA JARINGAN DISTRIBUSI LISTRIK DI GARDU INDUK GARUDA SAKTI PEKANBARU

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa :

1. Penulis Skripsi dengan judul sebagaimana tersebut di atas adalah hasil pemikiran dan penelitian saya sendiri.
2. Semua kutipan pada karya tulis saya ini sudah disebutkan sumbernya.
3. Oleh karena itu Skripsi saya ini, saya menyatakan bebas dari plagiat.
4. Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penulisan Skripsi saya tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan.

Demikianlah Surat Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun juga.

Pekanbaru, 08 Juli 2025
Yang Membuat Pernyataan



Yudha Bhuana
NIM. 11850514704



LEMBAR PERSEMBAHAN



Alhamdulillah, Alhamdulillahirabbil'alamin...

Sujud syukurku kusembahkan padaMu Tuhanku, Tuhan Yang Maha Agung nan Maha tinggi, Maha Adil dan Maha Penyayang. Atas kasih sayang-Mu memberiku kekuatan, dan membekaliku dengan ilmu, atas karunia dan kemudahan yang telah Engkau limpahkan pula. Akhirnya Tugas Akhir yang sederhana ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam semoga selalu terlimpahkan kehadiran Rasulullah Muhammad SAW yang telah membimbing umatnya menjadi manusia-manusia yang beradab, berfikir dan berilmu pengetahuan. Kupersembahkan karya sederhana ini kepada orang yang sangat kusayangi

Ayah Tercinta,

Ayah, terima kasih untuk setiap langkah dan lelah yang kau berikan demi aku. Untuk cinta yang tulus, bimbingan yang tak henti, dan semangatmu yang selalu menjadi pegangan. Pengorbananmu takkan pernah kulupakan. Maaf karena sampai hari ini aku masih sering merepotkanmu. Tetaplah mendampingi dengan doa dan cintamu, sampai saatnya tiba aku bisa membalas semua itu dengan kebahagiaan di masa tuamu.

Mama Tercinta,

Mama, terima kasih atas setiap perjuangan tanpa lelah yang kau lalui demi aku. Terima kasih atas doa-doa yang tak pernah putus, atas semangat dan motivasi yang selalu kau berikan. Pengorbananmu adalah anugerah terbesar dalam hidupku. Maafkan aku, Mama, karena hingga kini aku masih sering merepotkan dan belum bisa membuatmu benar-benar tenang.

Kepada Saudaraku,

Karya sederhana ini adalah wujud kesungguhanku melanjutkan pendidikan. Perjalanan ini tak lepas dari dukungan dan kepercayaanmu yang tak ternilai. Kini, keraguan itu terjawab pendidikanku telah kuselesaikan. Terima kasih untuk segala doa dan dukungan yang selalu menyertaku.

Kepada Temanku,

Hidup ini terlalu berat jika dijalani sendiri, tanpa pertolongan Tuhan dan kehadiran orang-orang terdekat. Terima kasih untuk teman-teman seperjuangan yang selalu memberi semangat, dukungan, dan bantuan hingga Tugas Akhir ini terselesaikan. Tak banyak yang bisa kuucap selain rasa syukur dan doa terbaik untuk kalian semua.

1. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

IMPLEMENTASI ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION UNTUK PENENTUAN LOKASI OPTIMAL RECLOSER PADA JARINGAN DISTRIBUSI LISTRIK DI GARDU INDUK GARUDA SAKTI PEKANBARU

YUDHA BHUANA

NIM: 11850514704

Tanggal Sidang : 11 Juli 2025

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islma Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Jaringan distribusi listrik di Gardu Induk (GI) Garuda Sakti Pekanbaru menghadapi tantangan signifikan akibat tingginya kepadatan penduduk dan fluktuasi permintaan energi yang mengakibatkan frekuensi gangguan lebih tinggi dan menurunnya keandalan sistem. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan meningkatkan keandalan sistem distribusi dengan metode algoritma Ant Colony Optimization (ACO) untuk menentukan lokasi optimal pemasangan recloser, yaitu perangkat proteksi otomatis yang berfungsi mengurangi durasi dan frekuensi padam listrik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa algoritma ACO secara konsisten memilih segmen 2 dan 6 sebagai lokasi optimal recloser, yang menghasilkan penurunan nilai SAIDI sebesar 68,91% dan SAIFI sebesar 71,28%. Dengan hasil tersebut, membuktikan bahwa algoritma ACO efektif dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan jaringan distribusi, serta memberikan pendekatan perencanaan teknis yang adaptif dan berbasis data untuk sistem kelistrikan yang kompleks dan berskala besar.

Kata Kunci: Recloser, Ant Colony Optimization, SAIDI, SAIFI, Keandalan Distribusi, MATLAB, Optimasi Lokasi.



IMPLEMENTATION OF ANT COLONY OPTIMIZATION FOR OPTIMAL RECLOSER PLACEMENT IN THE DISTRIBUTION NETWORK AT GARUDA SAKTI SUBSTATION PEKANBARU

YUDHA BHUANA

NIM: 11850514704

Date of Final Exam : 11 July 2025

Department of Electrical Engineering

Faculty of Science and Technology

State Islamic University Sultan Syarif Kasim

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRACT

The electricity distribution network at Garuda Sakti Substation (GI) in Pekanbaru faces significant challenges due to high population density and fluctuating energy demand, which lead to more frequent disturbances and decreased system reliability. To address this issue, this study aims to improve the reliability of the distribution system by applying the Ant Colony Optimization (ACO) algorithm to determine the optimal placement of reclosers automatic protection devices that function to reduce the duration and frequency of power outages. Simulation results show that the ACO algorithm consistently identifies segment 2 and segment 6 as the optimal locations for recloser installation, resulting in a 68.91% reduction in SAIDI and a 71.28% reduction in SAIFI. These results demonstrate that the ACO algorithm is effective in enhancing the efficiency and reliability of the distribution network, providing an adaptive, data-driven technical planning approach for complex and large-scale power systems.

Keywords: *Recloser, Ant Colony Optimization, SAIDI, SAIFI, Distribution Reliability, MATLAB, Location Optimization.*



KATA PENGANTAR



Assalammu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Alhamdulillah Rabbil Alamin, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, berkat rahmat dan karunia yang telah dilimpahkan-NYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“IMPLEMENTASI ANT COLONY OPTIMIZATION UNTUK PENENTUAN LOKASI RECLOSER OPTIMAL PADA JARINGAN DISTRIBUSI LISTRIK DI GARDU INDUK GARUDA SAKTI PEKANBARU”**.

Shalawat dan salam tak lupa dipanjatkan kepada junjungan Alam yakni Nabi Muhammad SAW. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan dalam menyelesaikan Tugas akhir di Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Terdapat banyak pihak yang telah membantu penulis dalam menyusun Tugas Akhir ini, baik secara moril maupun materil. Untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua beserta keluarga besar yang senantiasa memberi dukungan serta mendoakan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Ibu Prof. Dr. Hj. Leny Nofianti, M.Si, SE, Ak, CA selaku Rektor UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya.
3. Ibu Dr. Yuslenita Muda, M.Sc selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
4. Ibu Zulfatri Aini, S.T., MT selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
5. Bapak Sutoyo, S.T., M.T selaku sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
6. Bapak Hasdi Radiles, S.T., M.T.Selaku Dosen Pembimbing Akademik yang membimbing dari semester 1 hingga penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Bapak Ir. Oktaf Brilliant Kharisma S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir selama ini dengan sabar dan selalu membimbing serta memberikan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

8. Bapak Dr. Alex Wenda S.T.,M.T. selaku dosen pengampu mata kuliah Tugas Akhir I yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.
9. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom. selaku dosen Penguji I yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.
10. Bapak Dr. Harris Simaremare, S.T.,M.T selaku dosen Penguji II yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.
11. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
12. Papa tercinta, Yuhendri. Beliau memang belum sempat merasakan Pendidikan sampai bangku perkuliahan. Namun beliau dapat mendidik, mendoakan, memberikan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikannya sampai sarjana.
13. Mama tersayang, Adik Epizesmita. Terima kasih yang sebesar besarnya penulis sampaikan kepada beliau atas dukungan, motivasi, dan doa yang diberikan selama ini. Walaupun jalan pikiran kita tak sejalan, mama selalu menjadi pengingat dan penguat.
14. Terima kasih untuk rekan rekan Kos 5 Saudara, Hariz, Daffa, Atthaya, yang telah menemani penulis selama ngekos di pekanbaru.
15. Terima kasih untuk teman teman seperjuangan, Haichal, Ivan, Edo, Elfri, Fikri, Ditto, Dani yang juga berperan dalam memberikan semangat kepada penulis untuk mengerjakan karya tulis ini.
16. Terima kasih untuk rekan rekan seperbimbingan Ruli, Adasra, Aldri, Habib yang menemani penulis untuk bimbingan bersama dan melewati masa masa pendaftaran skripsi ini.
17. Terima kasih untuk sepupu penulis, yang selalu memberikan bantuan beserta arahan dan mengingatkan kepada penulis dalam masa proses karya tulis ini.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

18. Kepada seseorang yang tak kalah penting atas kehadirannya, Athifa Fakhryah. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis. Dimana banyak berkontribusi dalam karya tulis ini baik dari waktu maupun tenaga. Telah menjadi rumah serta pendamping dalam segala hal, mendengarkan keluh kesah, dan salah satu alasan penulis untuk menyelesaikan karya tulis ini.

19. Dan terakhir. Terima kasih untuk anak laki-laki satu satunya yang sangat mandiri sudah berjuang dan bertahan sampai titik sekarang ini. Mampu mengendalikan diri dari berbagai tekanan diluar keadaan dan tidak memutuskan untuk menyerah begitu saja, terima kasih sudah berani untuk mengakhiri semua apa yang sudah seharusnya diakhiri.

Penulis berharap segala bentuk bantuan, baik moril maupun materil, mendapatkan balasan pahala dari Allah SWT. Penulis juga berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat, baik bagi penulis sendiri maupun bagi para pembaca secara umum.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, mengingat keterbatasan dalam hal kemampuan, pengalaman, dan pengetahuan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat membangun untuk menyempurnakan karya ini.

Wassalamu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Pekanbaru, 11 Juli 2025

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-4
1.3 Tujuan Penelitian	I-4
1.4 Batasan Masalah	I-5
1.5 Manfaat Penelitian	I-5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	II-1
2.1 Penelitian Terkait	II-1
2.2 Jaringan Distribusi Listrik	II-3
2.3 Jenis Saluran Distribusi	II-4
2.4 Struktur Jaringan Distribusi	II-6
2.5 Topologi Saluran Distribusi	II-8
2.6 Tegangan Operasi Jaringan Distribusi	II-11
2.7 Peralatan Pada Sistem Distribusi	II-12
2.8 Indeks Keandalan Sistem Jaringan Distribusi	II-12
2.9 Ant Colony Optimazion (ACO)	II-13
2.9.1 Konsep Dasar ACO	II-13
2.9.2 Mekanisme ACO	II-14
2.9.3 Kelebihan ACO dalam Optimasi Jalur	II-15
2.10 Implementasi ACO pada graf Jaringan Distribusi Listrik	II-15
2.10.1 Representasi Graf dalam Jaringan Distribusi Listrik	II-15
2.10.2 Aplikasi Algoritma ACO dalam Optimasi Jalur Distribusi	II-15
2.10.3 Keunggulan ACO dalam Distribusi Listrik Perkotaan	II-16



BAB III METODE PENELITIAN..... III-1

3.1	Metode Penelitian	III-1
3.2	Tahapan Penelitian	III-2
3.3	Pemilihan Lokasi	III-4
3.4	Pengumpulan Data.....	III-5
3.5	Identifikasi Masalah	III-13
3.6	Perhitungan Nilai SAIFI, SAIDI dan CAIDI Sebelum Adanya Recloser	III-14
3.7	Pembuatan Program ACO	III-15
3.8	Optimasi Penempatan Recloser dengan Menggunakan Metode <i>Ant Colony Optimization</i>	III-21

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASANIV-1

4.1	Hasil Penelitian.....	IV-1
4.2	Implementasi Algoritma Ant Colony Optimization (ACO).....	IV-5
4.3	Langkah-Langkah Penggunaan Program ACO Recloser Optimization	IV-8
4.3.1	File Data Gangguan	IV-8
4.3.2	Program	IV-9
4.4	Pengujian Optimasi Lokasi Recloser.....	14
4.4.1	Pengujian Variasi Jumlah Semut.....	IV-14
4.4.2	Pengujian Variasi Jumlah Iterasi	IV-16
4.5	Evaluasi dan Pembahasan.....	IV-18

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN V-1

5.1	Kesimpulan.....	V-1
5.2	Saran	V-1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Hal
1. SLD Sistem Tenaga Listrik [11].....	II-4
2. Skema Jaringan Distribusi [15]	II-7
3. Topologi Radial [16]	II-8
4. Topologi Loop[17]	II-9
5. Topologi Spindel [17].....	II-10
6. Topologi Cluster [17]	II-10
7.1 Flowchart Penelitian	III-3
7.2 Peta Sistem Kelistrikan Riau	III-4
7.3 Flowchart <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO).....	III-16
7.4 <i>Dashboard</i> Algoritma ACO	III-17
8.1 Frekuensi dan Durasi Gangguan per Segmen.....	IV-5
8.2 Data Gangguan	IV-8
8.3 File Program	IV-10
8.4 Tampilan Awal GUI	IV-11
8.5 Parameter Input.....	IV-13
8.6 Pengujian Variasi Jumlah Semut 10, 20, 30, dan 40	IV-15
8.7 Pengujian Jumlah Iterasi 30, 50, 75 dan 100	IV-17



DAFTAR TABEL

Tabel	Hal
1. Spesifikasi Data Circuit Breaker	III-5
2. Data Penelitian Tahun 2019	III-6
3. Data Penelitian Tahun 2020	III-8
4. Data Penelitian Tahun 2020	III-10
5. Data Gangguan Sistem Distribusi.....	IV-1
6. Data Setelah Menggabungkan Data Segmen.....	IV-4
7.3 Tabel Perbandingan dari Variasi Jumlah Semut	IV-15
7.4 Tabel Perbandingan dari Variasi Jumla Iterasi.....	IV-17
7.5 Output Penelitian	IV-18



BAB I PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat seiring perkembangan teknologi dan urbanisasi di kota-kota besar membawa tantangan tersendiri bagi sistem distribusi listrik. Jaringan distribusi listrik merupakan komponen utama yang berfungsi mengalirkan daya dari pusat pembangkit menuju pengguna akhir. Di Garuda Sakti (GS), distribusi listrik menjadi lebih kompleks karena harus melayani kepadatan penduduk tinggi dengan variasi permintaan energi yang dinamis. Dalam konteks ini, keandalan sistem distribusi listrik harus dijaga untuk memastikan bahwa listrik sampai kepada pelanggan dengan efisiensi tinggi dan rugi-rugi daya yang seminimal mungkin. [1].

Rugi-rugi daya merupakan salah satu permasalahan utama dalam sistem distribusi listrik. Setiap jaringan listrik memiliki tantangan untuk menurunkan rugi-rugi daya, yang terjadi akibat panjangnya jalur distribusi dan kualitas komponen jaringan. Semakin besar rugi-rugi daya, semakin rendah efisiensi jaringan, yang pada akhirnya meningkatkan biaya operasional dan mengurangi keandalan suplai listrik. Untuk meminimalkan rugi-rugi tersebut, penting untuk menentukan jalur distribusi yang paling optimal. [2].

Optimasi jalur distribusi listrik adalah pendekatan penting untuk mengurangi rugi-rugi daya, di mana jalur distribusi yang optimal akan mengalirkan energi dengan cara yang lebih efisien dan andal. Tantangan dalam menentukan jalur optimal pada jaringan distribusi perkotaan muncul akibat tingginya jumlah simpul atau titik beban serta kompleksitas jaringan yang berbentuk graf besar. Dalam hal ini, setiap keputusan jalur distribusi tidak hanya berpengaruh pada rugi-rugi daya, tetapi juga pada stabilitas dan keandalan pasokan listrik. [3].

Pendekatan optimasi dalam sistem distribusi listrik telah berkembang seiring kemajuan teknologi. Beberapa metode optimasi jalur yang sudah ada antara lain menggunakan algoritma heuristik dan metaheuristik, seperti Genetic Algorithm (GA), Particle Swarm Optimization (PSO), dan Simulated Annealing (SA). Meskipun metode-metode ini mampu menemukan solusi optimasi, mereka seringkali memiliki



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

keterbatasan dalam skala jaringan yang lebih besar atau memerlukan waktu komputasi yang cukup tinggi untuk menemukan solusi optimal [1].

Ant Colony Optimization (ACO) adalah salah satu algoritma metaheuristik yang didasarkan pada perilaku semut dalam mencari jalur terpendek menuju sumber makanan. Semut-semut dalam koloni mampu menemukan jalur optimal melalui proses penguatan jejak feromon yang ditinggalkan di sepanjang jalur yang mereka tempuh. Jalur yang sering dilalui oleh semut akan memiliki feromon yang lebih kuat, sehingga menarik semut-semut lainnya untuk melalui jalur tersebut. Dalam konteks permasalahan optimasi, ACO meniru mekanisme ini untuk menemukan solusi optimal dengan cara yang adaptif dan efisien, bahkan pada sistem yang memiliki banyak kemungkinan jalur seperti jaringan distribusi listrik. [3].

ACO memiliki keunggulan dalam masalah penentuan jalur optimal. Dalam penerapannya, ACO mampu menyelesaikan masalah penentuan jalur distribusi listrik dengan mempertimbangkan parameter-parameter seperti jarak antar simpul, tingkat beban di setiap titik, serta jalur yang paling sedikit menimbulkan rugi-rugi. Dengan kelebihan ini, ACO menjadi metode yang menjanjikan untuk diimplementasikan pada jaringan distribusi listrik GI Garuda Sakti, di mana banyaknya titik beban dan kompleksitas jaringan membutuhkan metode optimasi yang adaptif dan efisien [2].

Urgensi penelitian ini terletak pada meningkatnya kebutuhan listrik seiring dengan perkembangan teknologi dan urbanisasi, khususnya di kawasan GI Garuda Sakti yang memiliki kepadatan penduduk tinggi [5]. Permintaan listrik yang terus meningkat memerlukan sistem distribusi yang lebih efisien dan andal agar dapat menghindari gangguan suplai listrik. Salah satu tantangan utama dalam distribusi listrik adalah tingginya rugi-rugi daya yang terjadi akibat panjangnya jalur distribusi dan kualitas komponen jaringan. Rugi-rugi daya yang besar dapat menurunkan efisiensi sistem, meningkatkan biaya operasional, dan mengurangi keandalan suplai listrik. Oleh karena itu, diperlukan metode optimasi yang mampu menentukan jalur distribusi listrik yang paling optimal untuk meminimalkan rugi-rugi daya serta meningkatkan efisiensi jaringan [6].

Alasan utama dalam mengangkat penelitian ini adalah perlunya solusi optimasi yang adaptif dan efisien dalam menentukan jalur distribusi listrik yang optimal. Pendekatan konvensional sering kali kurang efektif dalam menangani kompleksitas jaringan distribusi perkotaan yang memiliki banyak simpul beban dan jalur potensial.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Metode optimasi seperti *Ant Colony Optimization* (ACO) menawarkan pendekatan yang lebih adaptif dengan meniru mekanisme pencarian jalur optimal oleh koloni semut. ACO memiliki keunggulan dalam menemukan jalur distribusi dengan mempertimbangkan faktor seperti jarak antar simpul, tingkat beban di setiap titik, serta minimisasi rugi-rugi daya. Dengan menerapkan ACO pada jaringan distribusi listrik di GI Garuda Sakti, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan solusi yang lebih efisien, fleksibel, dan adaptif untuk menghadapi dinamika permintaan listrik di masa depan [8].

Standar umumnya, rugi-rugi daya dalam jaringan distribusi tegangan menengah (20 kV) berkisar 3% - 8%. Jika hasil optimasi dapat menurunkan rugi-rugi daya mendekati atau di bawah batas minimal, maka dianggap optimal. Penurunan tegangan (voltage drop) dalam jaringan distribusi harus tetap dalam batas standar yang ditentukan oleh Peraturan PLN atau IEEE 519. Umumnya, voltage drop yang diterima pada jaringan distribusi tegangan menengah berkisar $\pm 5\%$ dari tegangan nominal. Pembagian daya ke seluruh simpul (node) beban dalam jaringan harus merata, sehingga tidak ada titik yang kelebihan beban (overload). Diukur dengan Load Balancing Index (LBI) atau rasio beban tiap jalur terhadap kapasitas maksimalnya [10].

Dalam upaya menjaga kualitas dan kontinuitas pasokan listrik, tidak hanya aspek teknis seperti rugi-rugi daya, penurunan tegangan, dan distribusi beban yang perlu diperhatikan, tetapi juga sistem proteksi dan pemulihan jaringan harus dioptimalkan. Salah satu perangkat yang memiliki peran strategis dalam hal ini adalah recloser. Recloser merupakan salah satu komponen penting dalam sistem distribusi listrik yang berfungsi untuk mendeteksi dan mengisolasi gangguan sementara pada jaringan. Perangkat ini bekerja secara otomatis untuk membuka dan menutup kembali aliran listrik dalam waktu singkat, memungkinkan jaringan untuk pulih tanpa perlu intervensi manual. Dalam konteks distribusi listrik di GI Garuda Sakti, penggunaan recloser dapat meningkatkan keandalan sistem dengan mengurangi durasi pemadaman akibat gangguan sementara seperti kilat atau cabang pohon yang menyentuh jaringan. Dengan demikian, integrasi recloser dalam sistem distribusi listrik tidak hanya membantu menjaga kontinuitas pasokan listrik, tetapi juga mengurangi beban kerja petugas dalam menangani gangguan jaringan secara manual [11].



Penelitian ini mengusulkan penerapan algoritma ACO dalam penentuan jalur optimal pada jaringan distribusi listrik di GI Garuda Sakti. ACO diharapkan mampu menghasilkan jalur distribusi yang paling efisien, dengan mempertimbangkan minimisasi rugi-rugi daya dan pengurangan panjang jalur. Algoritma ini akan diterapkan pada model jaringan distribusi perkotaan yang telah disederhanakan, di mana ACO akan mencari jalur optimal dengan menggunakan mekanisme penguatan feromon.

Dengan menggunakan ACO, sistem distribusi listrik diharapkan dapat mencapai peningkatan dalam efisiensi dan keandalan, yang sangat dibutuhkan di GI Garuda Sakti dengan permintaan listrik yang tinggi. Penerapan ACO ini diharapkan tidak hanya mampu menurunkan rugi-rugi daya, tetapi juga dapat memberikan solusi yang fleksibel dan adaptif untuk menghadapi perubahan kebutuhan energi di masa depan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara menentukan lokasi yang optimal pemasangan recloser pada jaringan distribusi Gardu Induk Garuda Sakti Pekanbaru untuk meningkatkan keandalan system menggunakan algoritma Ant Colony Optimization (ACO)?
2. Bagaimana implementasi algoritma ACO dalam bentuk program simulasi menggunakan MATLAB untuk menganalisis dan mengoptimalkan lokasi pemasangan recloser berdasarkan data keandalan sistem distribus di Gardu Induk Garuda Sakti Pekanbaru?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Menentukan lokasi optimal pemasangan recloser pada jaringan distribusi Gardu Induk (GI) Garuda Sakti Pekanbaru dengan menerapkan algoritma Ant Colony Optimization (ACO) guna meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem distribusi berdasarkan parameter SAIFI dan SAIDI.
2. Membuat dan mengimplementasikan program simulasi berbasis MATLAB yang menggunakan algoritma ACO untuk menganalisis berbagai kemungkinan penempatan recloser, serta mengevaluasi dampaknya terhadap indeks keandalan.



Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Jaringan distribusi listrik yang diteliti adalah jaringan distribusi sekunder di GI Garuda Sakti.
2. Penelitian ini hanya berfokus pada algoritma ACO sebagai metode optimasi penentuan lokasi optimal recloser.
3. Simulasi dilakukan pada model jaringan distribusi yang telah dimodifikasi untuk tujuan penelitian, tanpa mempertimbangkan faktor eksternal seperti gangguan cuaca atau kerusakan fisik jaringan.

Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari hasil penelitian ini yaitu :

1. Penelitian ini berpotensi meningkatkan keandalan jaringan distribusi listrik di GI Garuda Sakti dengan caraa menentukan lokasi pemasangan recloser yang paling efektif. Dengan demikian, dampak gangguan dapat diminimalkan dan waktu pemulihan sistem menjadi lebih cepat.
2. Dengan menerapkan algoritma Ant Colony Optimization, proses penentuan lokasi recloser menjadi lebih sistematis dan berbasis data, sehingga keputusan yang diambil tidak bersifat subjektif dan dapat memberikan hasil keputusan yang lebih optimal dibanding metode konvensional.
3. Penempatan recloser yang tepat dapat mengurangi cakupan area padam saat terjadi gangguan, serta menurunkan nilai indeks keandalan seperti SAIDI dan SAIFI, yang penting bagi kualitas pelayanan kepada pelanggan.
4. Penelitian ini mendukung efisiensi operasional perusahaan distribusi listrik, karena pengurangan area gangguan akan menurunkan frekuensi dan biaya perbaikan jaringan akibat gangguan sistem.
5. Hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi dalam perencanaan sistem proteksi jaringan distribusi di wilayah perkotaan, khususnya dalam menghadapi tantangan gangguan yang sering terjadi pada jaringan sekunder.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

Penelitian Terkait

Beberapa penelitian yang terkait dengan penelitian sistem kontrol dan monitoring menggunakan arduino, yang dapat dijadikan bahan rujukan adalah sebagai berikut:

1. Novita Sari Saragih (2023) melakukan penelitian dengan judul “Penerapan Algoritma Boruvka Pada Jaringan Listrik (Studi Kasus Pada Kelurahan Tanjung Pinggir Kecamatan Siantar Martoba)”. Penelitian ini dilakukan di Tanjung Pinggir Kecamatan Siantar Martoba untuk mengetahui optimalisasi instalasi listrik menggunakan algoritma Boruvka untuk mencari simpul pohon merentang minimal dengan jumlah minimal 3 simpul berturut-turut. Tepi yang tidak membentuk sirkuit. Berdasarkan data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) UP3 Pematangsiantar, kemudian didapatkan gambar graf jaringan yang terpasang. Hasil yang diperoleh untuk diagram instalasi listrik diperoleh dengan menggunakan Python dan algoritma Boruvka 2.591 meter untuk mendapatkan pohon merentang minimum. Dalam hal ini, kabel distribusi listrik berkurang 41 meter dibandingkan total pemasangan sebelumnya sebanyak 2.632 meter.
2. Ali Mulki (2022) melakukan penelitian dengan judul “Optimasi Jaringan Distribusi Listrik dengan Pohon Rentang Minimum Menggunakan Bahasa Pemrograman Python”. Hasil yang diperoleh dari pencarian jalur distribusi listrik menggunakan bantuan Python ini berupa pohon rentang minimum dari jalur distribusi listrik yang memiliki titik sebanyak 83 dan sisi sebanyak 82, dengan total bobot minimum yang diperoleh yaitu 4.148 meter. Total bobot yang diperoleh lebih kecil daripada sebelum diterapkannya pohon rentang minimum pada jalur pendistribusian listrik sehingga mampu menghemat penggunaan kabel sepanjang 1.048 meter atau 20,47% dari total panjang kabel sebelumnya yaitu 5.196 meter.
- Muhammad Fayyadi (2020) melakukan penelitian dengan judul “Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Daya Listrik Dengan Metode Algoritma Genetika”. tujuan



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

rekonfigurasi jaringan. Rekonfigurasi jaringan distribusi daya listrik dengan menggunakan Algoritma genetika dalam tugas akhir ini dapat memperbaiki kinerja jaringan distribusi sesuai dengan tujuan dilakukannya rekonfigurasi yang dilakukan dengan pemilihan fungsi multiobjektif. Hasil penelitian menggunakan parameter algoritma genetika probabilitas mutasi 0,05 dan probabilitas pindah silang 0,8 dengan jumlah individu 100 menunjukkan konfigurasi yang lebih baik dari pada konfigurasi sebelum dilakukan rekonfigurasi dengan simulasi tugas akhir ini. Optimal jaringan distribusi dalam tugas akhir ini didasarkan pada rugi-rugi saluran, jatuh tegangan rata-rata dan faktor tegangan tak seimbang.

Pada penelitian Muhammad Aria Ghosal dalam penelitiannya pada tahun 2018. Yang berjudul Optimasi Penempatan Recloser Pada Penyulang Rambipuji Gardu Induk Jember Menggunakan Metode Optimasi Algoritma Koloni Semut. Penelitiannya mencoba untuk mengkaji penempatan recloser baru menggunakan metode algoritma genetika berdasarkan keandalan maksimum. Sistem distribusi merupakan bagian penting dari kegiatan distribusi energi listrik karena terhubung langsung ke pelanggan. Karena itu, sistem distribusi selalu dituntut memiliki keandalan yang baik. Salah satu cara untuk meningkatkan keandalan adalah menggunakan recloser. Penempatan recloser yang optimal akan dapat memaksimalkan keandalan. Penulis menggunakan metode algoritma genetika dalam menentukan posisi optimal recloser. Fungsi obyektif adalah menggabungkan SAIFI dan SAIDI. SAIFI dan SAIDI dihitung menggunakan metode teknik bagian. Perhitungan simulasi menggunakan pemrograman MATLAB (Matrix Laboratory). Program pengujian dilakukan pada jaringan distribusi radial. Hasilnya adalah posisi recloser dalam jarak 0,157 km dari recloser yang ada. Pengurangan SAIFI setelah penambahan recloser adalah 13,23%. Sedangkan pengurangan SAIDI adalah 2,57%.

Pada penelitian Handoko pada tahun 2017, berjudul Optimisasi Penempatan Recloser pada Sistem Distribusi Jaringan Radial Penyulang PDP-03 Menggunakan *Ant Colony Optimization* (ACO). Metode yang digunakan untuk penempatan lokasi recloser adalah *Ant Colony Optimization* (ACO) dengan menggunakan bantuan Software MATLAB R2014a. Dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa nilai keandalan sebelum dan setelah penempatan recloser berubah. SAIFI dan SAIDI sebelum penempatan recloser 1,0172 kali/tahun dan



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2,5435 jam/tahun. Lokasi penempatan yang optimal untuk 1 recloser berada pada lokasi 4 dengan nilai SAIFI dan SAIDI adalah 0,3361 kali/tahun dan 1,0456 jam/tahun. Sedangkan untuk 2 recloser berada pada lokasi 2 dan 7 dengan nilai SAIFI dan SAIDI adalah 0,26755 kali/tahun dan 0,86069 jam/tahun.

Jaringan Distribusi Listrik

Jaringan distribusi listrik adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang bertugas menyalurkan energi dari pusat pembangkit ke konsumen. Sistem ini terdiri dari sistem distribusi tegangan menengah dan sistem distribusi tegangan rendah. Sistem distribusi tenaga listrik didefinisikan sebagai bagian dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan Pusat Pembangkit Tenaga Listrik, Transmisi Tenaga Listrik dan Gardu Induk dengan konsumen [11]. Jaringan distribusi berperan dalam menyalurkan energi listrik secara langsung kepada pelanggan sesuai kebutuhan mereka. Beberapa gardu induk distribusi terletak di akhir jalur transmisi, berfungsi untuk mengatur penyaluran daya dari saluran transmisi dan sekaligus menurunkan tegangan dari tingkat transmisi ke tingkat distribusi. Selain itu, terdapat juga gardu induk yang ditempatkan di dalam jaringan distribusi, yang berguna untuk membagi arus daya dan menurunkan tegangan distribusi menjadi tegangan rendah.

Sistem ini terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu :

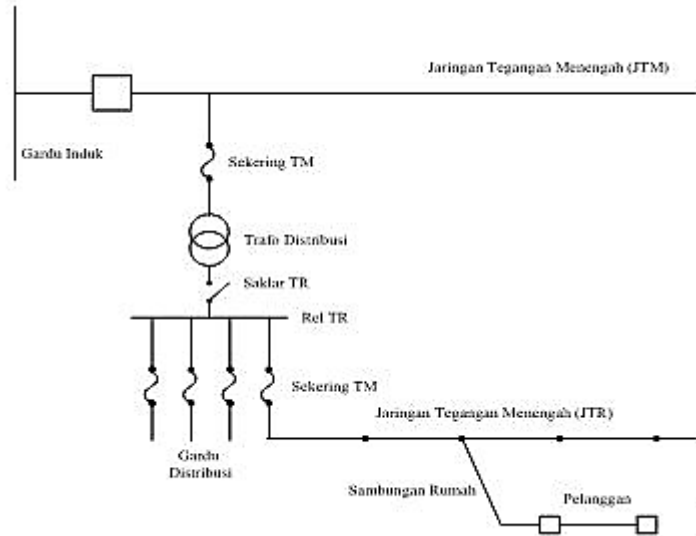
- Distribusi primer : Menghubungkan gardu induk dengan gardu distribusi menggunakan tegangan menengah. Pada tahap ini, energi listrik dibagi secara merata ke berbagai wilayah layanan.
- Distribusi Sekunder : Berfungsi mengalirkan listrik dari gardu distribusi ke rumah tangga, industri, dan pengguna akhir lain menggunakan tegangan rendah.

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau



Gambar 2.1 SLD Sistem Tenaga Listrik [11]

Di GI Garuda Sakti, jaringan distribusi listrik memiliki kompleksitas lebih tinggi akibat tingginya kepadatan beban dan kebutuhan distribusi energi yang terus meningkat. Oleh karena itu, keandalan dan efisiensi jaringan distribusi listrik menjadi faktor penting untuk memastikan kontinuitas pasokan listrik yang stabil dan berkelanjutan. Jaringan ini dirancang untuk mengurangi rugi-rugi daya, yang merupakan perbedaan antara energi yang dikirimkan dari sumber dan yang diterima oleh pengguna akhir. Minimnya rugi-rugi daya pada jaringan distribusi listrik berkontribusi langsung pada peningkatan efisiensi sistem secara keseluruhan.

Jenis Saluran Distribusi

Dilihat dari cara penyalurannya, jaringan distribusi dibagi menjadi dua jenis, yaitu jaringan melalui saluran udara (overhead line) dan jaringan yang menggunakan saluran bawah tanah (underground line) [12]. Saluran udara adalah metode distribusi listrik yang menggunakan kawat penghantar yang dipasang di atas tiang-tiang penyangga. Sementara itu, saluran bawah tanah adalah sistem distribusi listrik yang menggunakan kabel-kabel yang ditanam di bawah permukaan tanah.

2.3.1 Saluran udara (*overhead line*)

Saluran udara atau *overhead line* adalah sistem penyaluran tenaga listrik melalui kawat penghantar yang ditopang pada tiang listrik. Pada standar konstruksi jaringan distribusi PLN, saluran udara dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu [13]:

1. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) merupakan tipe jaringan distribusi tegangan menengah yang paling sering diterapkan oleh PLN karena memiliki biaya investasi yang rendah serta desain konstruksi yang relatif sederhana. Jenis konduktor yang umum digunakan dalam sistem SUTM meliputi AAAC (All-Aluminium Alloy Conductor), AAAC-S (All-Aluminium Alloy Conductor – Sheated), dan ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced). Ukuran konduktor yang digunakan bervariasi, mulai dari 25 mm² hingga 240 mm², seperti 35 mm², 70 mm², 95 mm², dan 150 mm².

2. Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)

SKUTM merupakan jenis saluran distribusi tegangan menengah yang menggunakan media konduktor berisolasi penuh sebagai media penghantar. Bahan isolasi yang digunakan adalah XLPE dengan lapisan polimer dan semikonduktor. Pada umumnya SKUTM digunakan untuk jaringan yang melayani pelanggan khusus atau penyulang dengan beban yang berada diujung jaringan 11 (Express Feeder). SKUTM juga digunakan pada wilayah yang memiliki kepadatan vegetasi yang tinggi seperti hutan dan perkebunan. Jenis penghantar yang digunakan adalah MVTIC (Medium Voltage Twisted Insulated Conductor). Ukuran penghantar yang tersedia untuk media ini antara lain 70mm², 150mm² dan 240mm².

Saluran udara memiliki sejumlah keunggulan, antara lain kemudahan dalam proses instalasi, fleksibilitas tinggi untuk penambahan beban di masa depan, serta kemudahan dalam mendeteksi dan menangani gangguan seperti hubung singkat. Namun demikian, saluran ini juga memiliki beberapa kelemahan, seperti rentan terhadap kondisi cuaca ekstrem dan risiko tertimpa pohon, kesulitan pemasangan di area padat bangunan tinggi, adanya



penurunan tegangan yang cukup signifikan akibat efek kulit, induktansi, dan kapasitansi, serta biaya perawatan yang lebih besar karena memerlukan pengecatan rutin dan penggantian komponen listrik saat mengalami kerusakan.

2.3.2 Saluran bawah tanah (*underground*)

Saluran bawah tanah merupakan sistem distribusi listrik yang memanfaatkan kabel tanah (*ground cable*) yang ditanam di bawah permukaan tanah. Konduktor yang digunakan umumnya merupakan kabel berlapis XLPE dan dilengkapi pelindung armor yang dikenal dengan tipe NA2XFYGBY. Ukuran kabel yang sering digunakan meliputi 70 mm², 240 mm², dan 300 mm² [14]. Saluran bawah tanah memiliki sejumlah kelebihan, seperti tidak terpengaruh oleh kondisi cuaca atau tertimpa pohon, tidak mengganggu estetika lingkungan, tampil lebih rapi dan menarik, serta memiliki masa pakai yang bisa dua kali lebih lama dibandingkan saluran udara. Selain itu, penurunan tegangan cenderung lebih kecil karena pengaruh induktansi dapat diabaikan, dan biaya perawatan juga lebih rendah karena tidak memerlukan pengecatan. Namun demikian, saluran ini juga memiliki kelemahan, antara lain biaya pembangunan yang lebih tinggi dibandingkan saluran udara, kesulitan dalam mendeteksi lokasi gangguan saat terjadi hubung singkat, perlunya perencanaan teknis yang lebih kompleks, serta potensi kerusakan akibat banjir, tekanan akar pohon, atau ketidakstabilan tanah.

2.4 Struktur Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi primer yaitu jaringan tenaga listrik yang keluar dari GI baik itu berupa saluran udara (*overhead line*) atau saluran bawah tanah (*underground*) yang menggunakan standard tegangan menengah dikatakan sebagai Jaringan Tegangan Menengah yang sering disebut dengan singkatan JTM dan sekarang salurannya masing masing disebut SKTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kabel tanah, SKUTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kabel udara dan SUTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kawat terbuka. Setelah tenaga listrik

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

sal
dik
sal
ke
Sa
dal
Pe
ter
(H
dan
ter



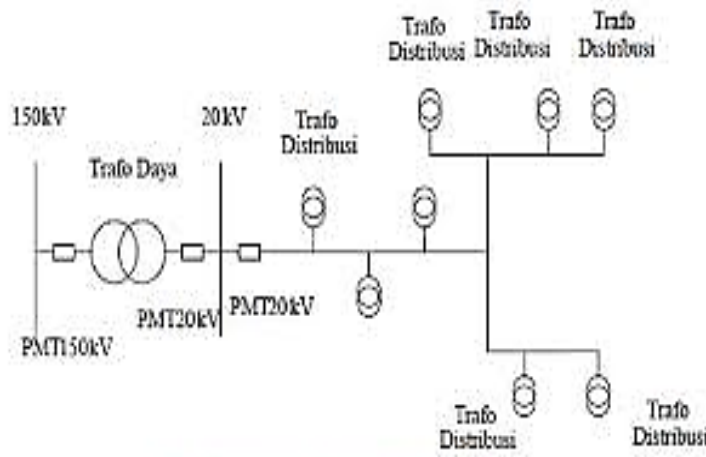
sal
dik
sal
ke
Sa
dal
Pe
ter
(H
dan
ter

sal
dik
sal
ke
Sa
dal
Pe
ter
(H
dan
ter

Topologi Saluran Distribusi

2.5.1 Jaringan distribusi radial

Jaringan distribusi radial, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, merupakan konfigurasi paling sederhana dan paling umum digunakan. Disebut radial karena saluran distribusinya ditarik secara menjari dari satu titik sumber utama dan bercabang menuju berbagai titik beban. Sistem ini hanya memiliki satu sumber catu daya. Arus beban yang mengalir di sepanjang saluran akan bervariasi, karena adanya percabangan ke berbagai titik beban sepanjang jalur distribusi [16].

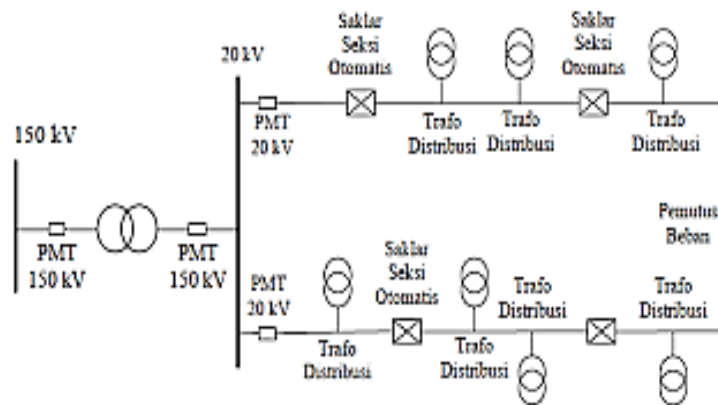


Gambar 2.3 Topologi Radial [16]

Karena arus beban yang mengalir di setiap titik saluran tidak merata, maka luas penampang konduktor pada jaringan radial tidak perlu seragam. Bagian utama saluran yang dekat dengan sumber dan membawa arus lebih besar memerlukan konduktor dengan penampang yang lebih besar, sementara cabang-cabang yang mengalirkan arus lebih kecil cukup menggunakan konduktor berukuran lebih kecil. Keunggulan dari jaringan radial terletak pada kesederhanaan struktur dan biaya investasi yang relatif rendah. Namun, kelemahannya adalah kualitas pasokan daya yang kurang baik akibat rugi daya dan tegangan yang cukup besar pada sistem ini. Kontinuitas pelayanan daya pun tidak terjamin, dikarenakan antara titik sumber dan titik beban hanya terdapat satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan, maka seluruh rangkaian sesudah titik gangguan akan mengalami “black out” secara total [16].

2.5.2 Jaringan distribusi loop

Tipe ini merupakan jaringan distribusi primer yang merupakan kombinasi dari dua sistem radial, dengan pemutus tenaga (PMT) dipasang di kedua ujungnya. Dalam kondisi normal, sistem ini beroperasi secara radial, namun saat terjadi gangguan, PMT dapat diaktifkan untuk membatasi area gangguan. Dibandingkan jaringan radial, tipe ini memiliki keandalan lebih tinggi dalam penyaluran energi listrik, meskipun memerlukan biaya investasi yang lebih besar [16].



Gambar 2.4 Topologi Loop[17]

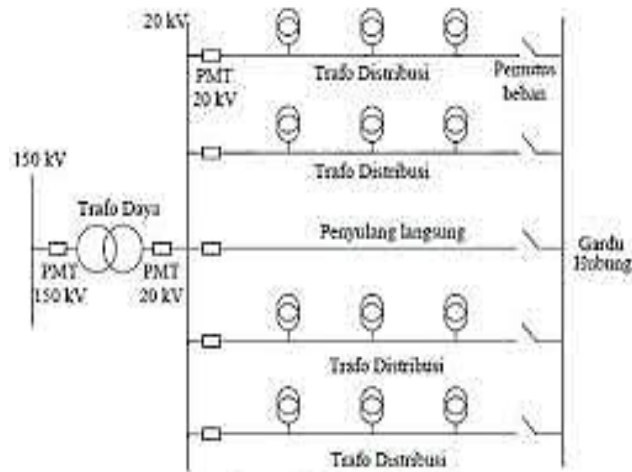
2.5.3 Topologi Spindle

Sistem spindle memanfaatkan dua jenis penyulang, yaitu penyulang operasi (working feeder) dan penyulang cadangan (standby atau express feeder). Penyulang cadangan tidak membawa beban selama kondisi normal dan hanya berfungsi sebagai pasokan cadangan jika terjadi gangguan pada penyulang utama, menjadikan sistem ini cukup andal. Dalam perencanaannya, sistem ini telah mempertimbangkan pertumbuhan beban atau peningkatan jumlah pelanggan untuk beberapa tahun ke depan, sehingga dapat digunakan dalam jangka waktu lama. Namun, biaya investasinya relatif tinggi. Dari sisi proteksi, sistem ini masih sederhana dan menyerupai sistem loop. Biasanya, pada bagian tengah penyulang dipasang gardu tengah sebagai titik manuver saat terjadi gangguan. Jika menggunakan dua penyulang, maka tingkat pembebanannya hanya sekitar 50%. Berdasarkan konsep spindle jumlah penyulang pada 1 spindle adalah 6 penyulang operasi dan 1 penyulang cadangan sehingga faktor pembebanan konfigurasi spindle penuh adalah

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

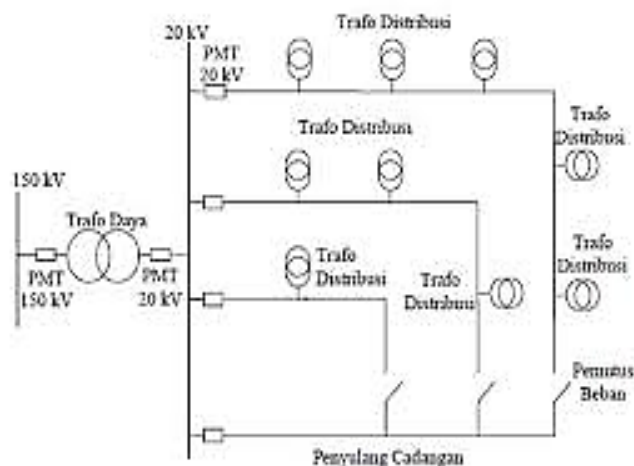
85%. Ujung-ujung penyulang berakhir pada gardu yang disebut Gardu Hubung dengan kondisi penyulang operasi “NO” (*Normally Open*), kecuali penyulang cadangan dengan kondisi “NC” (*Normally Close*) [17].



Gambar 2.5 Topologi Spindel [17]

2.5.4 Topologi Cluster

Sistem ini mirip dengan sistem spindle. bedanya pada sistem cluster tidak digunakan gardu hubung atau gardu switching, sehingga express feeder dari gardu hubung ke tiap jaringan. express feeder ini dapat berguna sebagai titik manufer ketika terjadi gangguan pada salah satu bagian jaringan [17].



Gambar 2.6 Topologi Cluster [17]



2.6

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tegangan Operasi Jaringan Distribusi

Berdasarkan besarnya tegangan listrik, jaringan distribusi tenaga listrik dapat dibedakan menjadi 2 (dua) sistem, yaitu: sistem jaringan distribusi primer dan sistem jaringan distribusi sekunder [18].

a. Sistem Distribusi Primer

Sistem jaringan distribusi primer, yang juga dikenal sebagai jaringan distribusi tegangan menengah (JTM), berada di antara gardu induk dan gardu pembagi. Sistem ini memiliki tingkat tegangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan yang digunakan oleh konsumen. Tegangan standar yang digunakan dalam jaringan distribusi primer umumnya adalah 6 kV, 11 kV, dan 20 kV, sesuai dengan ketentuan dari PLN.

b. Sistem Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder, yang juga dikenal sebagai jaringan distribusi tegangan rendah (JDTR), berperan dalam menyalurkan energi listrik dari gardu distribusi menuju titik-titik beban atau konsumen akhir. Tegangan standar yang digunakan pada jaringan ini adalah 127/220 V untuk sistem lama, 220/380 V pada sistem baru yang umum digunakan di sektor perumahan, serta 440/550 V untuk kebutuhan industri.

Berdasarkan tegangan pengenalnya, saluran distribusi tenaga listrik dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu: distribusi tegangan menengah dan distribusi tegangan rendah [18].

a. Jaringan Tegangan Menengah (JTM)

Sistem distribusi ini dapat berupa Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) atau Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), yang berfungsi menghubungkan transformator daya di gardu induk ke gardu distribusi. Tegangan yang umum disalurkan melalui sistem ini adalah 6 kV, 12 kV, atau 20 kV.

b. Jaringan Tegangan Rendah (JTR)

Saluran ini merupakan kabel tegangan rendah yang umumnya berasal dari SKTM atau SUTM, dan berfungsi mengalirkan energi listrik dari gardu distribusi atau trafo distribusi menuju konsumen. Tegangan operasional yang digunakan pada sistem ini adalah 220 volt atau 380 volt.



2.7 Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Peralatan Pada Sistem Distribusi

Jaringan distribusi yang baik adalah jaringan yang memiliki peralatan yang sesuai, salah satu yang terpenting adalah alat pelindung. Untuk jaringan distribusi overhead, peralatan pelindung dipasang di atas tiang listrik. Perangkat pelindung ini termasuk penutup flip otomatis (AA) atau penutup belakang. Recloser adalah pemutus arus yang trip secara II-13 otomatis untuk melindungi sistem dari korsleting [19]. Recloser dilengkapi dengan fungsi buka tutup otomatis, sangat berguna untuk menghilangkan kegagalan sistem jangka panjang yang disebabkan oleh gangguan sementara atau arus lebih jangka pendek. Ketika penutup otomatis mendeteksi arus hubung singkat di area aman, penutup otomatis memotong arus (membuka kontaktor) dan kemudian secara otomatis menutup lagi kontak dengan penundaan yang telah ditetapkan. Jika masih dirasakan adanya gangguan maka recloser akan bekerja membuka dan menutup berturut-turut sampai 3 atau 4 kali langsung mengunci.

2.8

Indeks Keandalan Sistem Jaringan Distribusi

Indeks keandalan sistem jaringan distribusi dinyatakan dalam beberapa indeks sebagai berikut [20]:

1. SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) Merupakan jumlah rata-rata dari gangguan yang terjadi dalam satu tahun dan ditetapkan ke dalam bentuk persamaan:

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i} \dots \dots \dots (2.1)$$

- SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) Merupakan waktu kegagalan rata-rata dalam satu tahun untuk tiap pelanggan dan ditetapkan ke dalam bentuk persamaan:

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} \dots \dots \dots (2.2)$$

- CAIDI (*Consumer Average Interruption Duration Index*) adalah durasi atau lamanya gangguan rata-rata, dihitung berdasarkan jumlah gangguan berkelanjutan dalam setahun. Ini adalah rasio dari total durasi gangguan terhadap jumlah gangguan selama tahun tersebut.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI}$$

.....(2. 3)

FITNESS (Fungsi Objektif Penempatan Recloser) adalah nilai fitness dalam sebuah algoritma Ant Colony menggambarkan tingkat kovergensi keoptimalan algoritma dimana yang diharapkan adalah nilai fitness yang optimal dalam hal ini angka tertinggi merupakan nilai terbaik. Untuk menentukan letak recloser pada sistem distribusi radial ini fungsi objektif yang digunakan adalah indeks keandalan yakni SAIFI dan SAIDI.

$$FITNESS = \frac{1}{SAIDI \times SAIFI} \dots\dots\dots (2. 4)$$

Keterangan:

$\sum \lambda_i N_i$ adalah jumlah perkalian antara failure rate dengan jumlah pelanggan komponen i

$\sum U_i . N_i$ adalah jumlah perkalian antara durasi kegagalan dengan jumlah pelanggan komponen i

N_i adalah jumlah beban pada titik beban i

λ_i adalah laju kegagalan

U_i adalah ketidaktersediaan

2.9 Ant Colony Optimazion (ACO)

2.9.1 Konsep Dasar ACO

Ant Colony Optimization (ACO) adalah algoritma metaheuristik yang didasarkan pada perilaku koloni semut dalam menemukan jalur terpendek menuju sumber makanan. Dalam algoritma ini, semut sebagai agen artifisial menelusuri jalur-jalur alternatif dan meninggalkan jejak feromon di sepanjang jalur yang mereka tempuh. Feromon ini berfungsi sebagai penanda yang menunjukkan jalur mana yang lebih efisien dan sering dilalui. Semakin banyak semut melewati jalur tertentu, semakin tebal feromon di jalur tersebut, sehingga meningkatkan peluang bagi semut lain untuk memilih jalur yang sama [22].

Suatu aturan transisi adalah probabilitas semut K untuk berkunjung dari kota awal i menuju kota berikutnya j selama membangun suatu solusi

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

ke-t. Aturan ini disebut dengan random proportional rule. Probabilitas transisi dari kota i ke kota j oleh semut K pada AS didefinisikan sebagai berikut [22]:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^a [\gamma_{ij}]^b}{\sum_{l \in N_i^k} [\tau_{il}(t)]^a [\gamma_{il}]^b} & \text{if } j \in N_i^k \\ 0, & \text{selainnya} \end{cases} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$L_k = d_{tabu(n), tabu(i)} + \sum_{s=1}^{n-1} d_{tabu(s), tabu(s-1)} \dots\dots\dots (2.6)$$

τ_{ij} merupakan jumlah pheromone pada tiap ruas antara node i dan node j , γ_{ij} adalah invers jarak antara node i dan node j , $(1/d_{ij}) \cdot \alpha$ adalah suatu parameter yang mengendalikan bobot pheromone. β adalah parameter pengendali jarak dan N_i^k merupakan himpunan node yang belum dikunjungi oleh semut.

Setelah semua semut selesai membangun sebuah tour, jejak pheromon yang ada pada tiap ruas diperbarui nilainya. Pembaharuan nilai pheromon dilakukan dengan terlebih dahulu mengurangi (menguapkan) pheromon yang ada pada ruas dengan suatu nilai penguapan konstan, kemudian menambahkannya dengan pheromon baru. Update pheromon dilakukan sebagai berikut:

$$\tau_{ij} = \rho \cdot \tau_{ij} + \Delta \tau_{ij} \dots\dots\dots (2.7)$$

ρ adalah parameter penguapan pheromon, m adalah jumlah semut-semut, tour describe by $tabu_k$ adalah tour yang dilakukan oleh semut K . Q adalah ketetapan jumlah pheromon untuk disimpan.

2.9.2 Mekanisme ACO

Beberapa komponen penting dalam mekanisme ACO adalah [22]:

- Feromon (Pheromone): Jejak kimiawi yang ditinggalkan oleh semut, yang menguat seiring dengan banyaknya semut yang melalui jalur tersebut.
- Evaporasi Feromon: Penguapan feromon bertujuan untuk menghindari penumpukan pada satu jalur, sehingga algoritma tetap eksploratif dan tidak hanya terpaku pada satu solusi awal.
- Eksploitasi dan Eksplorasi: Algoritma ini mengombinasikan pencarian solusi baru (eksplorasi) dan pemanfaatan solusi terbaik sementara (eksploitasi) untuk menemukan jalur optimal.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.9.3 Kelebihan ACO dalam Optimasi Jalur

ACO sangat cocok untuk optimasi pada masalah yang berbentuk graf dan memiliki banyak solusi potensial. Algoritma ini juga adaptif dalam lingkungan dinamis karena setiap perubahan jalur dapat direspons oleh semut melalui pembaruan feromon. Selain itu, ACO relatif cepat dalam menemukan solusi optimal, terutama pada jaringan distribusi besar, karena kemampuannya dalam mengeksploitasi dan mengeksplorasi solusi secara bersamaan [22].

2.10 Implementasi ACO pada graf Jaringan Distribusi Listrik

2.10.1 Representasi Graf dalam Jaringan Distribusi Listrik

Jaringan distribusi listrik dapat direpresentasikan sebagai graf, di mana [22]:

- Simpul (Node): Mewakili titik beban atau pusat distribusi energi.
- Tepi (Edge): Mewakili jalur distribusi atau kabel listrik yang menghubungkan titik-titik beban.

Dalam graf ini, jarak antar simpul dan tingkat beban di setiap simpul memengaruhi jalur distribusi yang optimal. Tujuan utama dalam optimasi adalah mencari jalur dengan total jarak minimal, rugi-rugi daya rendah, dan kestabilan tinggi.

2.10.2 Aplikasi Algoritma ACO dalam Optimasi Jalur Distribusi

Implementasi ACO pada graf jaringan distribusi listrik dimulai dengan menyusun sejumlah agen semut yang mengeksplorasi jalur antara pusat distribusi dan titik beban. Parameter-parameter yang disesuaikan meliputi [22]:

- Jumlah Semut: Menentukan jumlah agen yang akan menelusuri jalur dalam setiap iterasi.
- Jumlah Iterasi: Menentukan seberapa sering algoritma akan mencoba memperbarui solusi untuk mencapai hasil yang optimal.
- Laju Evaporasi Feromon: Mengontrol seberapa cepat jejak feromon menguap, agar algoritma tetap mengeksplorasi jalur lain.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Semut-semut ini akan mencari jalur distribusi yang optimal dengan mempertimbangkan jarak antar simpul, daya beban, serta jalur yang paling sedikit menghasilkan rugi-rugi daya. Jalur dengan jejak feromon paling tebal setelah beberapa iterasi akan dianggap sebagai jalur optimal.

10.3 Keunggulan ACO dalam Distribusi Listrik Perkotaan

Dengan menggunakan ACO, optimasi jalur distribusi listrik dapat mencapai beberapa keunggulan [22]:

- Efisiensi Jalur: Menentukan jalur distribusi yang minim rugi-rugi daya.
- Adaptivitas terhadap Perubahan: Dapat menyesuaikan jalur optimal seiring dengan perkembangan atau perubahan jaringan di GI Garuda Sakti.
- Skalabilitas: Algoritma ACO dapat diterapkan pada jaringan yang kompleks dan memiliki banyak simpul.



BAB III

METODE PENELITIAN

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan simulasi berbasis algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk menentukan lokasi optimal pemasangan recloser pada jaringan distribusi listrik di GI Garuda Sakti. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi berdasarkan indikator Saidi dan Saifi. Implementasi dilakukan melalui pemodelan matematis dan simulasi menggunakan MATLAB. Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan utama, yaitu:

1. Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan dengan mengumpulkan referensi terkait algoritma ACO, optimasi jaringan distribusi listrik, dan metode simulasi berbasis MATLAB. Selain itu, dilakukan pemahaman terhadap parameter-parameter utama dalam sistem distribusi listrik yang mempengaruhi efisiensi dan keandalan jaringan. Studi literatur ini menjadi dasar dalam perancangan dan penerapan metode optimasi yang digunakan dalam penelitian ini.

2. Pemodelan Jaringan Distribusi Listrik

Pemodelan Jaringan Distribusi Listrik dimulai dengan memetakan struktur jaringan distribusi di GI Garuda Sakti dalam bentuk graf. Proses ini melibatkan identifikasi titik beban (node) dan jalur distribusi listrik (edge) yang akan dianalisis. Dengan pemodelan ini, jaringan distribusi dapat direpresentasikan dalam bentuk yang sesuai untuk penerapan algoritma ACO.

3. Implementasi Algoritma ACO

Implementasi Algoritma ACO mencakup perancangan skenario optimasi jalur distribusi dengan algoritma ACO. Dalam tahap ini, ditentukan parameter algoritma seperti jumlah semut, iterasi, tingkat evaporasi feromon, dan faktor heuristik. Parameter-parameter ini disesuaikan untuk mendapatkan hasil optimasi yang optimal. Setelah parameter ditetapkan, algoritma ACO diintegrasikan ke dalam MATLAB untuk simulasi dan analisis data.



4 Simulasi dan Analisis Data

Simulasi dan Analisis Data dilakukan dengan menjalankan simulasi algoritma ACO pada model jaringan distribusi listrik yang telah dipetakan sebelumnya. Hasil simulasi kemudian dianalisis berdasarkan parameter rugi-rugi daya, efisiensi jalur, dan kestabilan jaringan. Untuk menilai efektivitas algoritma, hasil optimasi dibandingkan dengan metode konvensional yang telah digunakan dalam sistem distribusi listrik.

5 Kesimpulan dan Evaluasi

Kesimpulan dan Evaluasi dilakukan dengan menyusun hasil analisis berdasarkan performa algoritma ACO yang diterapkan. Evaluasi terhadap efektivitas metode optimasi yang digunakan dalam penelitian ini menjadi langkah terakhir dalam proses penelitian. Dari hasil evaluasi ini, ditentukan apakah algoritma ACO memberikan peningkatan yang signifikan dalam efisiensi dan keandalan distribusi listrik di GI Garuda Sakti.

3.2

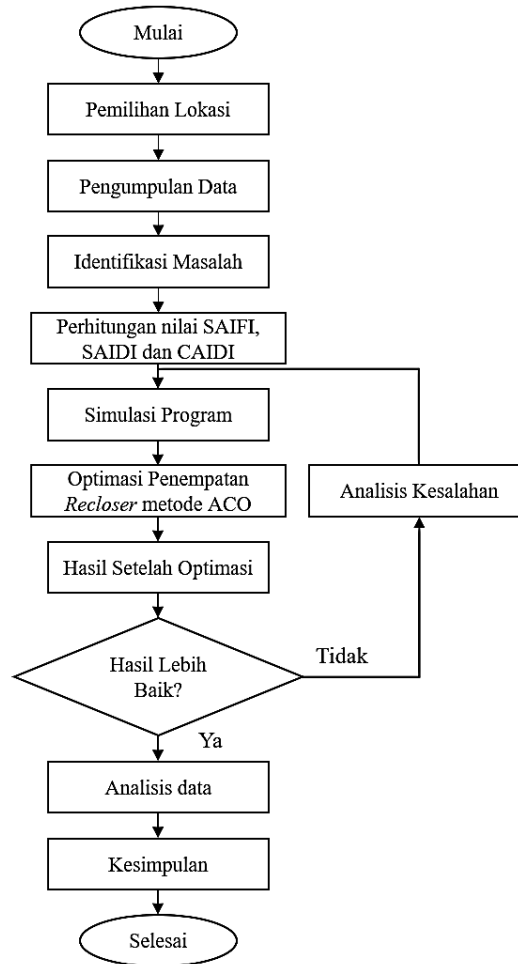
Tahapan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi lokasi optimal pemasangan recloser dengan memanfaatkan algoritma koloni semut. Langkah awal dalam analisis adalah mengidentifikasi kaitan antara keberadaan recloser dan tingkat keandalan sistem distribusi. Pengukuran keandalan dilakukan melalui analisis nilai SAIDI dan SAIFI pada sistem distribusi listrik yang dikaji.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

Semakin besar nilai SAIDI dan SAIFI pada suatu titik beban, maka semakin rendah nilai keandalan pada titik tersebut. Begitu sebaliknya, semakin kecil nilai SAIDI dan SAIFI pada suatu titik beban, maka semakin tinggi nilai keandalan pada titik tersebut. Untuk menganalisa nilai SAIDI dan SAIFI pada titik beban di penyulang sistem distribusi dengan metode Section technique diperlukan beberapa data yaitu jumlah pelanggan per trafo distribusi, konfigurasi jaringan, data laju kegagalan dan waktu perbaikan komponen. Adapun tahapan pengolahan data dari Penyulang gardu induk garuda sakti, yaitu :

Berdasarkan data single line diagram Penyulang dan jarak antar trafo distribusi di Penyulang, dilakukan pembagian Section dengan berdasarkan Sectionalizer. Ini bertujuan untuk menentukan mana yang merupakan main Section (Section utama) dan mana yang merupakan lateral Section (Section percabangan). Main Section terletak di sepanjang Mainline (lintasan utama) saluran penyulang



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengizinkan penggunaan atau mengutipnya untuk tujuan komersial.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengutip dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

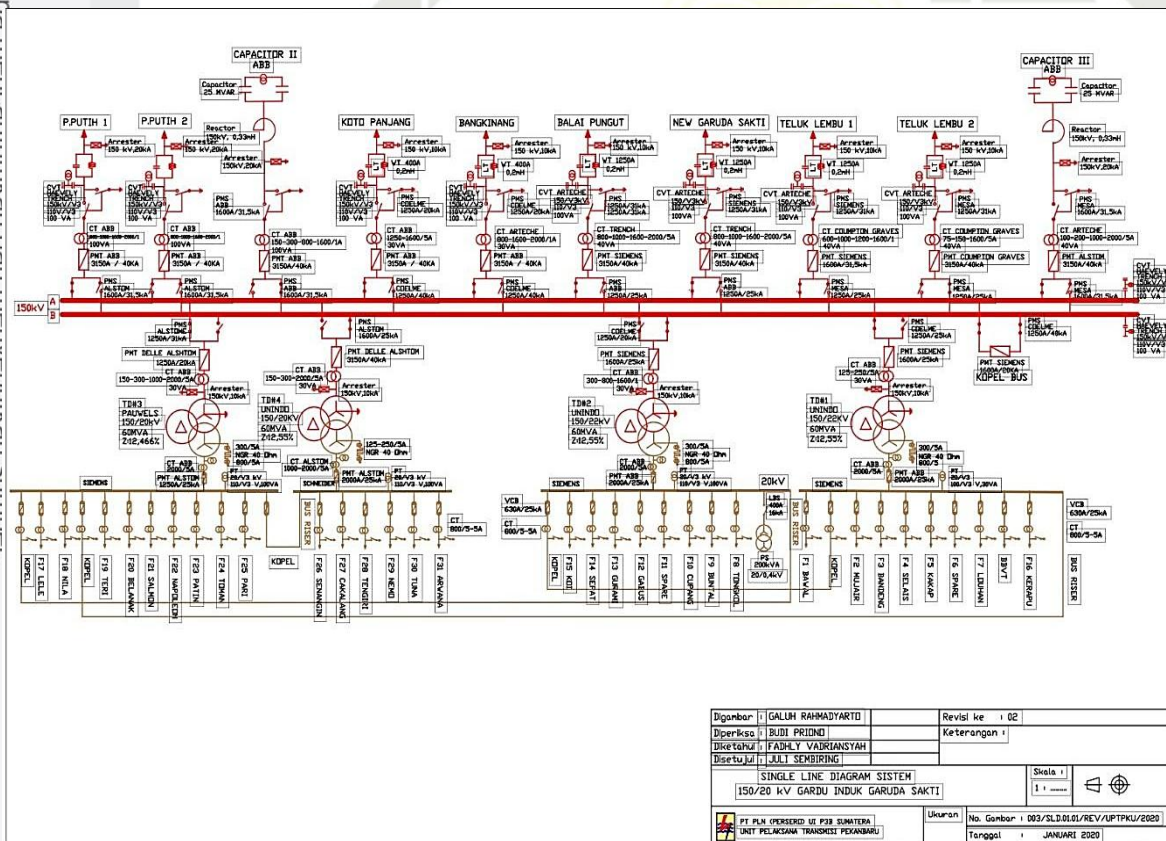
dimana terdapat trafo distribusi yang merupakan load point di main Section tersebut. Sedangkan lateral Section terletak setelah adanya FCO percabangan di Mainline. Pada lateral Section ini juga terdapat trafo distribusi yang merupakan load point di lateral Section.

2. Mengidentifikasi laju kegagalan dan waktu perbaikan kerusakan sistem serta menentukan efek dari setiap mode kegagalan.

3. Menghitung indeks keandalan sistem tiap Section. Data-data laju kegagalan dan durasi gangguan (ketersediaan waktu) akan dimasukkan pada sebuah program koloni semut, yang akan dioptimasi menggunakan algoritma koloni semut sehingga didapatkan letak recloser yang paling optimal.

3.3 Pemilihan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan pada jaringan transmisi 150 kV di Provinsi Riau pada lingkungan PT.PLN wilayah Riau khususnya pada unit P3B Sumatera.



Gambar 3.2 Single Line Diagram Gardu Induk Garuda Sakti



Pengumpulan Data

Berikut ini merupakan Spesifikasi Data Circuit Breaker

Tabel 3.1 Spesifikasi Data Circuit Breaker

Type	LTB170D		
Voltage	170 kV	Breaking Current	40 kA
Insulation Level		Dc-Component	36 %
Lightning imp. Witch voltage	750 kV	First -Pole-Clear-Factor	1.5 -
Swiching imp. Witch voltage	- kV	Making Current	100 kA
Power Fruquency	325 kV	Short-time current	3s 40 kA
Fruquency	50 Hz		
Normal Current	3150 A	Line charging Breaking Current	63 A
Gas Pressure SF6	abs (+20 C)	Mass total	1702 kg
Max. working Pressure	0.9 Mpa	Mas of gas	12 Kg
Filling	0.8 Mpa	Rules	IEC 62271-100 -
Signal	0.72 Mpa	Operating sequence	0-0.3-CO-3min-CO
Bloking	0.72 Mpa	temperatur Class	-25 C
Type	76 I		

UIN SUSKA RIAU



Data Penelitian

Tabel 3.2 Data Penelitian Tahun 2019

Bulan	Tanggal	Sebab	Segmen Beban (A)	Durasi (Jam)	Jumlah Pelanggan Padam	Keterangan
Januari	4-Jan-19	ALAM	1	0,4	8.908	TRIP BERSAMAAN, CUACA HUJAN BADAI
Februari	3-Feb-19	LAINNYA	1	0,125	8.908	GANGGUAN TIDAK DITEMUKAN
Februari	12-Feb-19	KOMPONEN JTM	1	0,11	8.908	TRIP BERSAMAAN DENGAN P. PERAWANG, BEBAN PINCANG TERBACA PHASA R=117 A S=2 A, T=121 A, KEMUDIAN DILEPAS KEMBALI
Februari	21-Feb-19	ALAM	1	1,58	8.908	CUACA HUJAN BADAI PETIR, PENORMALAN SECARA LOCAL KARENA SCADA FAILED
March	3-Mar-19	ALAM	1	1,4	8.908	DIMASUKKAN BERTAHAP AMAN, CUACA HUJAN BADAI. GANGGUAN BERULANG
April	1-Apr-19	PERALATAN JTM	1	0,6	8.908	PENYEBAB GANGGUAN DITEMUKAN FCO TRAFO PUTUS, LOKASI DI JALAN KARYA



2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun t

1. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang	1-April	LAINNYA	2	0,20	4.335	DIMASUKKAN AMAN, GANGGUAN TIDAK DITEMUKAN. PENORMALAN LAMA KARENA SCADA SEMPAT FAILED BEBERAPA MENIT
2. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengutip sumber: Pengutipannya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan laporan, pengutipan tidak mengikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.	3-Mei-2019	POHON	2	1,6	4.335	GANGGUAN DITEMUKAN POHON BAMBU MENIMPA SUTM, LOKASI DI PONDOK MUTIARA JL. PEMUDA
	6-Mei-2019	LAINNYA	1	0,17	8.908	GANGGUAN TEMPORER, DIMASUKKAN BERTAHAP AMAN
	28-Mei-2019	TRAFO ATAU GARDU	2	0,3	4.335	GANGGUAN TRAFO DISTRIBUSI RUSAK, LOKASI JL. KAYU MANIS
	13-Jun-19	TRAFO DAYA	1	0,53	8.908	GANGGUAN TRAFO DAYA #2 GIGS, RELAY SBEP BEKERJA, INDIKASI YANG KELUAR GFR DI INCOMING TD #2 GIGS
	28-Sep-19	KOMPONEN JTM	2	0,36	4.335	GANGGUAN PMCB, PELANGGAN RBC RUSAK
	2-Okt-2019	PERALATAN JTM	2	0,32	4.335	GANGGUAN FCO TRAFO PUTUS, LOKASI DI SAMPING RUMAH MAKAN BAREH SOLOK JL. RIAU
	9-Okt-2019	LAIN	1	0,17	8.908	DIMASUKKAN BERTAHAP AMAN, GANGGUAN TIDAK DITEMUKAN, TRIP DI REC PEMUDA DAN TEMBUS KE PMT GI
	30-Okt-2019	ALAM	1	1,28	8.908	DIMASUKKAN BERTAHAP AMAN, CUACA HUJAN BADA

31-Okt-2019	ALAM	1	1,05	8.908	DIMASUKKAN BERTAHAP AMAN, GANGGUAN TIDAK DITEMUKAN, CUACA HUJAN ANGIN KENCANG DISERTAI PETIR
27-Des-2019	LAIN	1	0,1	8.908	GANGGUAN TEMPORER
Jumlah total pelanggan PT. PLN (Persero) ULP Pekanbaru Kota Barat = 57.893 pelanggan					

Tabel 3.3 Data Penelitian Tahun 2020

	Tanggal	Sebab	Segmen Beban (A)	Durasi (Jam)	Jumlah Pelanggan Padam	Keterangan
14-Jan-20	14-Jan-20	ALAM (Pohon)	2	6,3	14.935	GANGGUAN POHON TUMBANG MENGENAI SUTM AKIBAT WARGA MENEBAANG POHON, TIANG TM MIRING, LOKASI DI JL. SIAK 2, DOUBLE SIRKUIT DENGAN P. PERAWANG GIGS
16-Jan-20	16-Jan-20	LAINNYA	2	0,13	14.935	DIMASUKKAN AMAN, GANGGUAN TIDAK DITEMUKAN
20-Jan-20	20-Jan-20	KOMPONEN JTM	2	1,4	14.935	TRIP BERSAMAAN DENGAN P. DANAU GIGS, GANGGUAN TIDAK DITEMUKAN
21-Jan-21	21-Jan-21	LAINNYA	2	0,31	14.935	TRIP BERSAMAAN DENGAN P. DANAU GIGS, GANGGUAN TIDAK DITEMUKAN



2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun t

Februari	9-Feb-20	LAINNYA	4	0,005	7.209	GANGGUAN TEMPORER
Februari	16-Feb-20	LAINNYA	4	0,005	7.209	GANGGUAN TEMPORER
Februari	19-Feb-20	KOMPONEN JTM	2	2,08	14.935	GANGGUAN DITEMUKAN, KAWAT SUTM MENGENAI TRAVES, LOKASI DI SPBU SIAK 2
Februari	19-Feb-20	LAINNYA	2	0,05	14.935	GANGGUAN TEMPORER
Mar	3-Mar-20	POHON	2	1,87	14.935	GANGGUAN DITEMUKAN, POHON TUMBANG, LOKASI DI JL ARENGKA 2
Mar	27-Mar-20	LAINNYA	2	0,08	14.935	GANGGUAN TEMPORER
Mei	11-Mei-2020	LAINNYA	2	0,2	14.935	DIMASUKKAN BERTAHAP AMAN, GANGGUAN TIDAK DITEMUKAN
Juni	27-Jun-20	LAINNYA	2	0,067	14.935	GANGGUAN TEMPORER
Agustus	16-Agus-2020	LAINNYA	4	0,006	7.209	GANGGUAN TEMPORER
Agustus	18-Agus-2020	LAINNYA	2	0,033	14.935	GANGGUAN TEMPORER
September	4-Sep-20	ALAM (Ledakan)	2	0,62	14.935	LEDAKAN DI DEKAT GI, ESKAPATOR MENGENAI JARINGAN, LOKASI DEKAT GI
September	21-Sep-20	KOMPONEN JTM	2	3,38	14.935	GANGGUAN DITEMUKAN, GWS PUTUS 4 GAWANG, LOKASI DI TERMINAL AKAP
Oktober	02-Okt-2020	LAINNYA	4	0,017	7.209	GANGGUAN TEMPORER



2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun t

Oktober	13-Okt-2020	PERALATAN JTM	2	0,17	14.935	GANGGUAN ARRESTER TRAF0 KB 326 JEBOL
Oktober	15-Okt-2020	LAINNYA	2	0,037	14.935	GANGGUAN TEMPORER
Oktober	16-Okt-2020	LAINNYA	2	0,037	14.935	GANGGUAN TEMPORER
Oktober	27-Okt-2020	BENCANA ALAM	2	0,055	14.935	DINORMALKAN BERTAHAP AMAN, CUACA HUJAN BADAI
November	5-Nov-20	LAINNYA	4	0,004	7.209	GANGGUAN TEMPORER
November	11-Nov-20	LAINNYA	2	0,04	14.935	GANGGUAN TEMPORER
November	11-Nov-20	BENCANA ALAM	2	0,058	14.935	TRIP BERSAMAAN DENGAN LBS PEMUDA
November	24-Nov-20	LAINNYA	2	0,033	14.935	GANGGUAN TEMPORER
Desember	12-Des-2020	BENCANA ALAM	2	0,063	14.935	DIMASUKKAN BEBAN TIDAK SEIMBANG, TERBACA PHASA R=3 A, S=13 A, T=12 A
*Jumlah total pelanggan PT. PLN (Persero) ULP Pekanbaru Kota Barat = 72.651 pelanggan						

Tabel 3.4 Data Penelitian Tahun 2020

Bulan	Tanggal	Sebab	Segmen Beban	Durasi (Jam)	Jumlah Pelanggan Padam	Keterangan
Januari	9-Jan-21	LAINNYA	6	1.3	9.419	Terencana
Januari	11-Jan-21	ALAM	6	0.18	9.419	Tidak Terencana
Januari	17-Jan-21	LAINNYA	6	2.25	9.419	Terencana

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun

Februari	9-Feb-21	LAINNYA	6	0.02	9.419	Terencana
Februari	19-Feb-21	KOMPONEN JTM	6	0.82	9.419	Tidak Terencana
Februari	20-Feb-21	ALAM	6	0.08	9.419	Tidak Terencana
Februari	21-Feb-21	TIANG LISTRIK	6	1.37	9.419	Tidak Terencana
Maret	5-Mar-21	LAINNYA	6	2.5	9.419	Terencana
Maret	31-Mar-21	ALAM	7	0.23	9.419	Tidak Terencana
April	16-Apr-21	ALAM	7	0.32	9.419	Tidak Terencana
April	20-Apr-21	ALAM	7	0.17	9.419	Tidak Terencana
April	26-Apr-21	ALAM	7	2.62	9.419	Tidak Terencana
April	28-Apr-21	LAINNYA	7	0.87	9.419	Terencana
Mei	04-Mei-2021	ALAM	7	0.12	9.419	Tidak Terencana
Mei	11-Mei-2021	LAINNYA	7	3	9.419	Terencana
Mei	13-Mei-2021	ALAM	7	1.25	9.419	Tidak Terencana
Mei	15-Mei-2021	TIANG LISTRIK	8	1.52	9.419	Tidak Terencana
Juni	18-Jun-21	KOMPONEN JTM	8	2.12	9.419	Terencana
Juli	3-Jul-21	KOMPONEN JTM	8	3.22	9.419	Terencana
Juli	6-Jul-21	KOMPONEN JTM	8	2.62	9.419	Terencana
Juli	15-Jul-21	ALAM	8	1.889	9.419	Tidak Terencana
Juli	16-Jul-21	KOMPONEN JTM	9	1.88	9.419	Terencana

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun

Agustus	07-Agus-2021	PIHAK KE3 / BINATANG	9	0.17	9.419	Tidak Terencana
November	10-Nov-21	LAINNYA	9	0.98	9.419	Tidak Terencana
November	12-Nov-21	LAINNYA	9	0.78	9.419	Tidak Terencana
November	13-Nov-21	PERALATAN JTM	9	0.7	9.419	Terencana
Desember	03-Des-2021	LAINNYA	9	0.37	9.419	Terencana
Desember	07-Des-2021	KOMPONEN JTM	10	1.77	9.419	Terencana
*Jumlah total pelanggan PT. PLN (Persero) ULP Pekanbaru Kota Barat = 76.123 pelanggan						



Data penelitian ini diperoleh berdasarkan informasi dari PT PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Riau dan Kepulauan Riau (UID RKR), serta Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Pekanbaru. Jumlah pelanggan listrik di Kota Pekanbaru pada tahun 2023 tercatat sebanyak 1.007.328 pelanggan, yang terdiri dari berbagai kategori seperti rumah tangga, bisnis, fasilitas sosial, kantor pemerintahan, industri, penerangan jalan, dan multiguna. Data ini diambil dari statistik resmi yang dirilis oleh BPS Kota Pekanbaru.

Berdasarkan laporan kinerja kelistrikan tahun 2024 oleh PT PLN (Persero), nilai System Average Interruption Frequency Index (SAIFI) di wilayah kerja UID Riau mengalami penurunan. Pada awal tahun 2024, nilai SAIFI tercatat sebesar 4,27 kali gangguan per pelanggan per tahun, dan berhasil diturunkan menjadi 3,23 kali gangguan per pelanggan per tahun. Penurunan ini menunjukkan adanya perbaikan keandalan sistem distribusi listrik, yang menjadi salah satu dasar pertimbangan dalam penelitian ini.

Nilai System Average Interruption Duration Index (SAIDI) juga menunjukkan tren penurunan yang signifikan. Pada awal tahun 2024, rata-rata durasi gangguan tercatat sebesar 2,115 jam per pelanggan per tahun, kemudian menurun menjadi 1,802 jam per pelanggan per tahun. Penurunan nilai SAIDI ini mencerminkan peningkatan dalam penanganan gangguan dan efisiensi operasional jaringan distribusi listrik di wilayah Pekanbaru.

Identifikasi Masalah

Penelitian ini menggunakan data jaringan distribusi Listrik yang diperoleh langsung dari PLN sebagai dasar analisis. Fokus utama dari penelitian adalah menentukan lokasi optimal pemasangan recloser guna meningkatkan keandalan sistem distribusi di Gardu Induk (GI) Garuda Sakti. Keandalan sistem dianalisis menggunakan parameter SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*).

Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB dengan menerapkan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) sebagai metode optimasi. ACO digunakan untuk mengevaluasi berbagai kemungkinan penempatan recloser



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

berdasarkan nilai SAIDI dan SAIFI di setiap segmen jaringan, sehingga diperoleh lokasi recloser yang paling efektif dalam menurunkan gangguan.

Data sekunder dikumpulkan dari berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, buku referensi, dan laporan teknis, serta data gangguan dari PLN yang berkaitan dengan keandalan sistem distribusi, algoritma ACO, dan metode simulasi. Data ini digunakan sebagai acuan dalam perancangan model penelitian serta sebagai dasar evaluasi efektivitas hasil optimasi.

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini meliputi studi literatur, analisis dokumentasi, serta eksperimen berbasis simulasi. Studi literatur digunakan untuk memahami konsep keandalan sistem distribusi dan prinsip kerja algoritma ACO. Analisis dokumentasi dilakukan untuk memahami pola gangguan dan karakteristik jaringan distribusi di GI Garuda Sakti. Sementara itu, simulasi digunakan untuk menguji efektivitas algoritma dalam menentukan lokasi recloser terbaik.

Penelitian ini dilaksanakan pada jaringan distribusi Listrik di GI Garuda Sakti, Pekanbaru, dan dilakukan selama 1 minggu, mulai dari tahap pengumpulan data, pemodelan, pengembangan simulasi, hingga evaluasi dan analisis hasil. Diharapkan, hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan keandalan distribusi listrik secara efisien melalui penempatan recloser yang tepat.

3.6

Perhitungan Nilai SAIFI, SAIDI dan CAIDI Sebelum Adanya Recloser

Sebelum pemasangan recloser, keandalan sistem distribusi listrik masih tergolong rendah, yang ditunjukkan oleh tingginya nilai indeks keandalan seperti SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), SAIDI (System Average Interruption Duration Index), dan CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index). Indeks-indeks ini digunakan untuk mengukur frekuensi dan durasi rata-rata gangguan yang dialami oleh pelanggan dalam sistem distribusi. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung ketiga indeks tersebut adalah sebagai berikut:

- A. SAIFI (gangguan/pelanggan/tahun):

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{N_T}$$

- B. SAIDI (jam/pelanggan/tahun):



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

CAIDI (jam/gangguan):

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{N_T}$$

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI}$$

Keterangan:

- λ_i : Frekuensi gangguan pada lokasi ke-i (kali/tahun)
- U_i : Lama gangguan pada lokasi ke-i (jam)
- N_i : Jumlah pelanggan terdampak pada lokasi ke-i
- N_T : Total jumlah pelanggan pada sistem

Pembuatan Program ACO

Setelah data sistem jaringan distribusi listrik terkumpul, langkah selanjutnya adalah mengembangkan model untuk aplikasi ACO:

- Definisi Masalah: Masalah yang dipecahkan adalah penentuan jalur distribusi optimal dari sumber listrik (misalnya, gardu induk) ke titik-titik konsumen, dengan mempertimbangkan faktor jarak, beban, dan kapasitas.
- Inisialisasi Pheromone: Penentuan inisialisasi pheromone pada tiap jalur jaringan distribusi yang akan digunakan untuk memandu proses pencarian solusi optimal.
- Fungsi Objektif: Fungsi objektif yang digunakan adalah minimisasi total jarak atau waktu distribusi, dengan memperhatikan kendala kapasitas dan beban yang harus didistribusikan.
- Proses Pemilihan Jalur: Pada setiap iterasi, semut akan memilih jalur berdasarkan informasi pheromone yang ada, dengan memperhitungkan jarak dan kapasitas.
- Pembaruan Pheromone: Proses pembaruan pheromone dilakukan berdasarkan hasil solusi yang ditemukan, di mana jalur dengan solusi terbaik akan diberi pheromone lebih banyak, dan jalur yang lebih buruk akan diberi pheromone lebih sedikit.

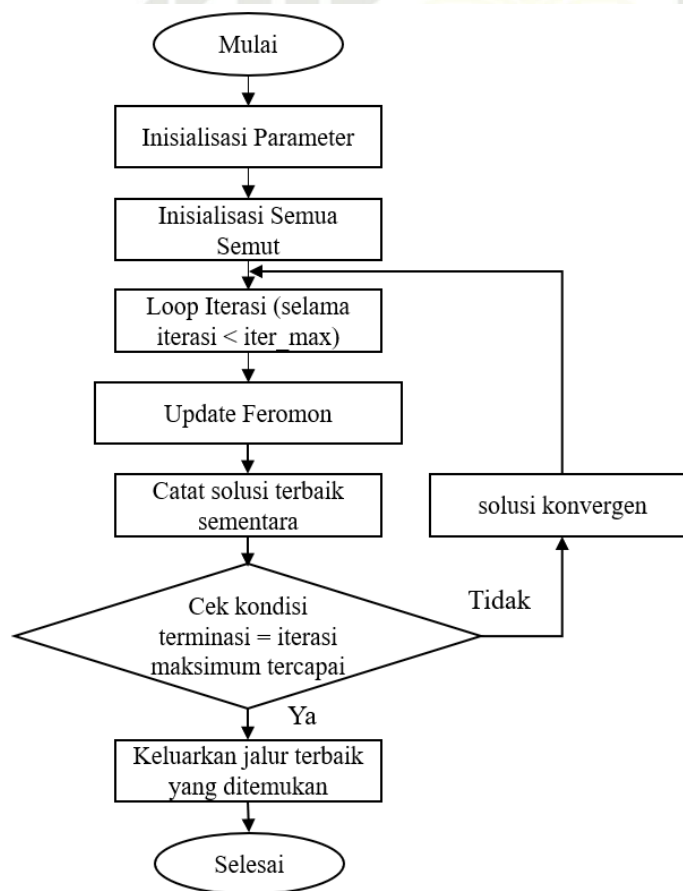


Tahap implementasi melibatkan penerapan algoritma ACO pada model jaringan distribusi listrik yang telah dibangun:

Pemrograman dan Simulasi: Algoritma ACO akan diimplementasikan dalam perangkat lunak (MATLAB) dan diuji coba dengan data jaringan distribusi yang telah dikumpulkan.

Eksperimen Pengujian: Algoritma akan diuji untuk berbagai kondisi, seperti variasi jumlah titik distribusi, kapasitas jalur, dan beban yang harus didistribusikan.

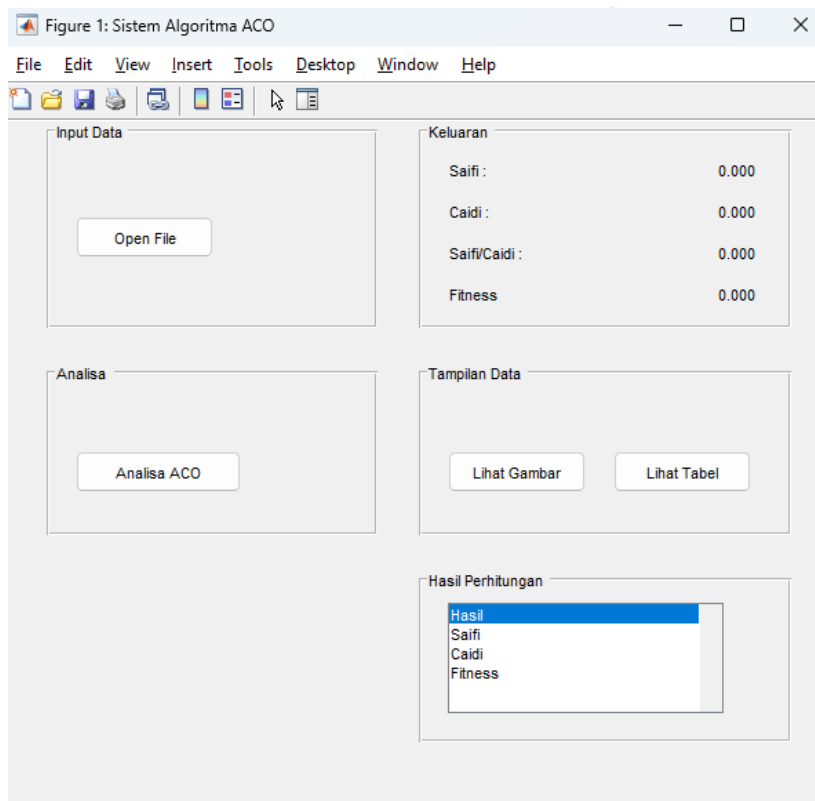
Untuk merealisasikan penentuan jalur optimal pada jaringan distribusi listrik, digunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) sebagai metode pencarian solusi terbaik secara iteratif. ACO bekerja dengan meniru perilaku semut dalam mencari jalur terpendek menuju sumber makanan melalui mekanisme deposit dan penguapan feromon. Proses pencarian jalur optimal oleh algoritma ini digambarkan secara sistematis dalam flowchart berikut.



Gambar 3.3 Flowchart *Ant Colony Optimization* (ACO)

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Flowchart di atas menggambarkan alur logika algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dalam Bahasa Indonesia secara sistematis. Proses dimulai dari inisialisasi parameter, seperti jumlah semut, iterasi maksimum, koefisien pengaruh feromon (α), jarak (β), tingkat evaporasi (ρ), dan nilai konstanta deposit (Q). Setelah itu, dilakukan inisialisasi semua semut, di mana setiap semut ditempatkan pada titik awal secara acak. Sistem juga mengintegrasikan tampilan UI pengguna seperti tampilan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.4 *Dashboard* Algoritma ACO

Selanjutnya, algoritma memasuki loop iterasi, yang berjalan hingga jumlah iterasi mencapai batas maksimum. Dalam setiap iterasi, setiap semut membangun solusi berupa jalur dengan memilih simpul berikutnya berdasarkan probabilitas yang dipengaruhi oleh feromon dan jarak antar simpul. Semut menghindari simpul yang telah dikunjungi, kemudian menghitung total biaya atau panjang jalur yang ditempuh.

Setelah semua semut menyelesaikan rutennya, dilakukan pembaruan feromon. Feromon pada semua jalur mengalami penguapan, dan kemudian diperkuat kembali sesuai dengan kualitas solusi yang ditemukan semut. Semakin pendek jalur yang



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber;

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

ditempuh, semakin besar kontribusi semut dalam menambah feromon pada jalur tersebut. Sistem juga menyimpan solusi terbaik sementara pada tahap ini.

Algoritma kemudian masuk ke proses pengecekan kondisi terminasi, yaitu memeriksa apakah jumlah iterasi maksimum telah tercapai atau solusi sudah konvergen. Jika salah satu kondisi tersebut terpenuhi, maka algoritma akan mengeluarkan jalur terbaik yang ditemukan selama proses. Dengan demikian, ACO dapat menentukan jalur optimal berdasarkan prinsip swarm intelligence yang meniru perilaku pencarian makanan oleh koloni semut. Kode MATLAB - ACO untuk Jalur Terpendek

```
clc;
clear;

%% Parameter ACO
nAnt = 20;           % Jumlah semut
nIter = 100;         % Jumlah iterasi
alpha = 1;           % Pengaruh feromon
beta = 5;             % Pengaruh jarak
rho = 0.5;           % Laju evaporasi feromon
Q = 100;             % Konstanta feromon

%% Matriks Jarak
dist = [
    0  2  2  Inf Inf Inf;
    2  0  2  1  3  Inf;
    2  2  0  3  Inf 1;
    Inf 1  3  0  2  2;
    Inf 3  Inf 2  0  2;
    Inf Inf 1  2  2  0
];

nNode = size(dist, 1); % Jumlah node
tau = ones(nNode);     % Feromon awal
```



```

bestPath = [];
bestLength = Inf;
%% ACO Main Loop
for iter = 1:nIter
    for k = 1:nAnt
        path = zeros(1, nNode);
        visited = false(1, nNode);
        path(1) = 1; % Start dari node 1 (GI Garuda Sakti)
        visited(1) = true;

        for i = 2:nNode
            current = path(i-1);
            prob = zeros(1, nNode);

            for j = 1:nNode
                if ~visited(j) && dist(current,j) < Inf
                    prob(j) = (tau(current,j)^alpha) * (1/dist(current,j)^beta);
                end
            end

            prob = prob / sum(prob);
            next = rouletteWheelSelection(prob);
            path(i) = next;
            visited(next) = true;
        end

        % Hitung panjang jalur
        length = 0;
        for i = 1:nNode-1
            length = length + dist(path(i), path(i+1));
        end
    end
end

```

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



```
% Simpan solusi terbaik
if length < bestLength
    bestLength = length;
    bestPath = path;
end
```

```
end
```

```
end
```

```
% Update Feromon
```

```
tau = (1 - rho) * tau;
```

```
for i = 1:nNode-1
```

```
    a = bestPath(i);
```

```
    b = bestPath(i+1);
```

```
    tau(a,b) = tau(a,b) + Q / bestLength;
```

```
    tau(b,a) = tau(b,a) + Q / bestLength;
```

```
end
```

```
fprintf('Iterasi %d: Panjang Terbaik = %.2f\n', iter, bestLength);
```

```
end
```

```
fprintf('\nJalur Optimal: ');
```

```
disp(bestPath);
```

```
fprintf('Panjang Jalur Minimum: %.2f\n', bestLength);
```

```
%% Fungsi Roulette Wheel Selection
```

```
function idx = rouletteWheelSelection(prob)
```

```
    r = rand;
```

```
    cumProb = cumsum(prob);
```

```
    idx = find(r <= cumProb, 1, 'first');
```

```
end
```

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Optimasi Penempatan Recloser dengan Menggunakan Metode *Ant Colony Optimization*

Pengoptimasian yang dilakukan pada penempatan recloser dengan menggunakan metode *Ant Colony Optimization* adalah sebagai berikut:

1. Melakukan perhitungan data awal untuk mendapatkan nilai SAIDI, SAIFI dan Fitness untuk setiap load point (36 titik/node).
 2. Memasukkan inisialisasi parameter alpha, rho, jumlah semut dan iterasi maksimum. Dimana α (alpha) merupakan parameter bobot untuk nilai pheromon tiap lintasan yang dilalui oleh semut, sedangkan ρ merupakan parameter penguapan pheromone serta jumlah semut dan iterasi yang akan membatasi algoritma untuk menyebarkan jumlah semut dan membatasi nilai iterasi. Pada penelitian ini hanya dilakukan iterasi sebanyak 1 kali.
 3. Semut akan menyebar dari sarang menuju tiap node dengan pheromone awal yang sama (τ_1). Node/ titik pada penelitian ini merupakan saluran distribusi yang merupakan bagian dari main feeder. Setelah setiap semut menyebar pada masingmasing node yang berbeda, maka setiap semut akan melakukan perjalanan untuk memilih node berikutnya dengan menggunakan persamaan probabilitas memilih ruas dan menghasilkan sebuah path/jalur. Jumlah tabulist yang dihasilkan akan sebanding dengan jumlah semut.
 4. Menghitung nilai probabilitas dari tiap perjalanan semut (P_{ij}) untuk memilih ruas menggunakan rumus 2.5. Titik i merupakan node awal semut dan titik j merupakan node yang terpilih berdasarkan nilai probabilitasnya yang terbesar. Untuk perjalanan selanjutnya, setiap semut akan memilih node berikutnya dengan tetap menggunakan rumus probabilitas memilih ruas, dimana node yang sebelumnya terpilih karena nilai probabilitas tertinggi menjadi titik awal pada perjalanan selanjutnya. Ini bertujuan agar saat setiap semut ketika melakukan tour nya tidak lagi melakukan pemilihan node yang sudah terpilih dan tersimpan di tabulist sebelumnya. Tahapan ini akan berlangsung sampai semua node di kunjungi oleh setiap semut dan bisa dikatakan bahwa setiap semut telah menyelesaikan tour nya.
- Setelah semua semut menyelesaikan tour nya, tabulist akan penuh. Panjang tour yang dilakukan oleh setiap semut dihitung berdasarkan tabulist tersebut. Pada



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

tahap ini menghitung probabilitas sebuah tabulist dengan rumus 2.6. Sedangkan untuk menghitung pheromone pada tiap tabulist dilakukan dengan menambahkan pheromone sementara pada masing-masing tabulist dengan pheromone global berikut ini .

Evaluasi pemilihan titik optimasi untuk menampilkan hasil dengan menetapkan titik mana yang cocok untuk pemasangan recloser yaitu dari perhitungan pada setiap tabulist tour semut, dimana nilai probabilitas terkecil dan pheromone terbesar pada path/jalur di tabulist tour dipilih sebagai sebuah solusi terbaik.

Setelah mengetahui nilai keandalan sistem distribusi sebelum pemasangan recloser, langkah berikutnya adalah melakukan analisis terhadap kondisi sistem setelah recloser dipasang. Data gangguan diperbarui berdasarkan kondisi sistem pasca-reklosing, kemudian dilakukan perhitungan ulang nilai SAIFI, SAIDI, dan CAIDI menggunakan metode yang sama seperti pada Bab 3.

8. Pemasangan recloser diharapkan dapat mengurangi jumlah pelanggan terdampak saat terjadi gangguan, mempercepat proses pemulihan sistem dan menurunkan frekuensi dan durasi gangguan secara keseluruhan. Hasil perbandingan antara kondisi sebelum dan sesudah pemasangan recloser akan digunakan untuk mengevaluasi efektivitas alat tersebut dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi.
9. Kesimpulan, Dari hasil perhitungan SAIFI, SAIDI, dan CAIDI sebelum dan sesudah pemasangan recloser, diperoleh gambaran bahwa pemasangan recloser memberikan dampak positif terhadap peningkatan keandalan jaringan distribusi listrik. Nilai SAIFI dan SAIDI diharapkan menurun secara signifikan, menunjukkan berkurangnya frekuensi dan durasi gangguan yang dialami pelanggan. Nilai CAIDI yang lebih kecil juga menunjukkan bahwa durasi pemadaman per gangguan menjadi lebih singkat.

UIN SUSKA RIAU

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan simulasi yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penelitian ini berhasil menentukan lokasi optimal pemasangan recloser pada jaringan distribusi listrik Gardu Induk (GI) Garuda Sakti Pekanbaru menggunakan algoritma Ant Colony Optimization (ACO). Dengan menerapkan pendekatan ACO, kombinasi lokasi recloser terbaik dapat ditemukan secara efektif untuk menurunkan nilai SAIDI (System Average Interruption Duration Index) dan SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), yang merupakan indikator utama dalam pengukuran keandalan sistem distribusi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa lokasi optimal berada pada segmen 2 dan 6, dengan penurunan nilai SAIDI sebesar 68,91% dan SAIFI sebesar 71,28% setelah pemasangan recloser.
2. Penelitian ini juga berhasil merancang dan mengimplementasikan program simulasi berbasis MATLAB dengan tampilan antarmuka grafis (Graphical User Interface). Program ini memungkinkan pengguna untuk mengatur berbagai parameter ACO seperti jumlah semut, jumlah iterasi, jumlah recloser, dan jumlah kandidat segmen. Selain itu, program mampu membaca data gangguan dari file Excel, menghitung indeks keandalan sebelum dan sesudah pemasangan recloser, serta menampilkan grafik konvergensi. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa program mampu meningkatkan keandalan sistem distribusi secara signifikan, sesuai dengan tujuan penelitian.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut antara lain:

Pengembangan parameter visibilitas pada algoritma ACO dapat dilakukan dengan mempertimbangkan data beban segmen, kondisi jaringan real-time, atau tingkat prioritas pelanggan agar hasil optimasi lebih adaptif terhadap kondisi nyata.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

2. Fungsi objektif dalam ACO dapat diperluas, tidak hanya berdasarkan parameter SAIDI dan SAIFI, tetapi juga mempertimbangkan aspek biaya investasi pemasangan recloser, waktu pemulihan gangguan, dan efisiensi isolasi gangguan.
3. Integrasi program simulasi ini dengan sistem informasi geografis (GIS) sangat disarankan, agar hasil optimasi dapat divisualisasikan secara spasial, memudahkan analisis teknis dan pengambilan keputusan di lapangan oleh tim distribusi PLN.





DAFTAR PUSTAKA

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© H e a () r i l U N S U S K A R I A U e t s m e l n i e r t y o f s u l a n g y r i f K a s i m R i a u

1. Ayu, H. D., Asri, R., & Yunesti, P. (2024). Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya Bifacial: Pendekatan Sudut Inklinasi. *Infotekmesin*, 15(2), 252-261.
2. Feryanto, A. Ant Colony System untuk Penyelesaian Masalah Travelling Salesman Problem.
3. Karjono, K., Moedjiono, M., & Kurniawan, D. (2016). *Ant Colony Optimization. Jurnal Ticom*, 4(3), 93603.
4. Nugraha, I. M. A., & Desnanjaya, I. G. M. N. (2021). Penempatan dan Pemilihan Kapasitas Transformator Distribusi Secara Optimal Pada Penyulang Perumnas. *Jurnal RESISTOR (Rekayasa Sistem Komputer)*, 4(1), 33-44.
5. Syaputra, A., & Ervianto, E. (2017). *Perhitungan Rugi Daya Saluran Distribusi Primer 20 kV Feeder Adi Sucipto di GI Garuda Sakti Dengan Metode Ladder Iterative Technique* (Doctoral dissertation, Riau University).
6. Sinaga, D. H., Sasue, R. R. O., & Hutahaean, H. D. (2021). Pemanfaatan Energi Terbarukan Dengan Menerapkan Smart Grid Sebagai Jaringan Listrik Masa Depan. *Journal Zetroem*, 3(1), 11-17.
7. Tanjung, A. (2014). Rekonfigurasi sistem distribusi 20 kv gardu induk teluk lembu dan PLTMG langgam power untuk mengurangi rugi daya dan drop tegangan. *SITEKIN: Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, 11(2), 160-166.
8. Winarno, A. (2007). *Studi Tentang Urban Sprawl Kota Semarang Terhadap Kualitas Tegangan Listrik Studi Kasus Kelurahan Meteseh Kecamatan Tembalang* (Doctoral dissertation, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro).
9. Jurnal, R. T. (2018). Analisa Nilai Saidi Saifi Sebagai Indeks Keandalan Penyediaan Tenaga Listrik Pada Penyulang Cahaya Pt. Pln (Persero) Area Ciputat: Ibnu Hajar; Muhammad Hasbi Pratama. *energi & kelistrikan*, 10(1), 70-77.
- [10] Sahbana, M. F., & Suheta, T. (2021). Perencanaan Saluran Kabel Tegangan Menengah Pada Jaringan Distribusi 20 KV di Penyulang Pasar Kembang. *SinarFe7*, 4(1), 118-120.
- [11] Makkasau, A. A. (2021). *Rehabilitasi Jaringan Distribusi Saluran Udara Tegangan Menengah Area Feeder Sungguminsasa* (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS HASANUDDIN).



[12]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

Hudha, M. S., & Multi, A. (2019). Perencanaan Saluran Kabel Bawah Tanah Pada Instalasi Pengolahan Gas. *Sinusoida*, 21(2), 18-29.

WARITZA, H. A. (2022). *Optimalisasi Penempatan Recloser Jaringan Distribusi 20kv Penyulang Rdt03 Menggunakan Algoritma Optimasi Particle Swarm Optimization Untuk Menekan Saidi Dan Saifi Di Kawasan Industri Tambak Aji* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung).

Mumu, A. J., Mangindaan, G. M. C., & Tumaliang, H. (2021). Analisis keandalan sistem distribusi di kotamobagu menggunakan indeks saifi dan saidi. -.

Sutalman, A. (2023). *Optimasi Sistem Jaringan Distribusi 20 Kv Unit Layanan Pelanggan Mattirotasi Dengan Menentukan Manuver Alternatif* (Doctoral dissertation, Politeknik negeri Ujung Pandang).

Adam, M., & Prabowo, A. (2019). Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20 Kv Mengurangi Beban Overload Dan Jutah Tegangan Pada Trafo Bl 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etab 12.6. 0. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 1(2), 62-69.

Hariadi, A., Termawut, I., & Hafid, A. (2023). Analisis Resiko Kegagalan Jaringan Distribusi PLN Menggunakan Metode Fault Tree Analysis. *IJESPG (International Journal of Engineering, Economic, Social Politic and Government)*, 1(3), 254-267.

Funan, F., & Utama, W. (2020). Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan Indeks Keandalan SAIDI dan SAIFI pada PT PLN (PERSERO) Rayon Kefamenanu. *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil dan Teknik Informasi*, 3(2), 32-36.

Tabarok, D. K., Saleh, A., & Kaloko, B. S. (2017). Optimasi Penempatan Distributed Generation (DG) dan Kapasitor pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Metode Genetic Algorithm (GA)(Studi Kasus pada Penyulang Watu Ulo Jember).

Risqiyanti, V., Yasin, H., & Santoso, R. (2019). Pencarian jalur terpendek menggunakan metode algoritma “Ant Colony Optimization” pada GUI MATLAB (Studi kasus: PT Distriversa Buana Mas cabang Purwokerto). *Jurnal Gaussian*, 8(2), 272-284.



LAMPIRAN

Lampiran 1. main_recloser.m

```
function main_recloser()
    clc; clear;
    filePath = '';

    % Buat jendela GUI
    f = uifigure('Name', 'ACO Recloser Optimization', 'Position', [100
    0 750 600]);

    % Input: jumlah kandidat
    uilabel(f, 'Position', [30 540 150 22], 'Text', 'Jumlah Kandidat
    Segmen:');
    edit1 = uieditfield(f, 'numeric', 'Position', [190 540 100 22],
    'Value', 10);

    % Input: jumlah recloser
    uilabel(f, 'Position', [30 500 150 22], 'Text', 'Jumlah Recloser:');
    edit2 = uieditfield(f, 'numeric', 'Position', [190 500 100 22],
    'Value', 2);

    % Input: iterasi ACO
    uilabel(f, 'Position', [30 460 150 22], 'Text', 'Maks Iterasi ACO:');
    edit3 = uieditfield(f, 'numeric', 'Position', [190 460 100 22],
    'Value', 50);

    % Input: jumlah semut
    uilabel(f, 'Position', [30 420 150 22], 'Text', 'Jumlah Semut ACO:');
    edit4 = uieditfield(f, 'numeric', 'Position', [190 420 100 22],
    'Value', 20);

    % Tombol Upload
    btnupload = uibutton(f, 'Text', 'Upload File Gangguan', ...
    'Position', [30 580 150 30], ...
    'ButtonPushedFcn', @(btnUpload, event) pilihFile());

    % Label file
```

1. Diarung sebagai atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



```
lblFile = uilabel(f, 'Position', [200 580 500 22], 'Text', 'Belum ada file yang dipilih');
```

```
% Tombol Proses
```

```
btn = uibutton(f, 'Text', 'Jalankan Optimasi', ...  
    'Position', [30 370 150 30], ...  
    'ButtonPushedFcn', @(btn,event) jalankanACO());
```

```
% Label hasil
```

```
outLabel = uilabel(f, ...  
    'Position', [30 330 680 40], ...  
    'Text', '', 'FontWeight', 'bold', 'FontSize', 12);
```

```
% TextArea untuk fitness log
```

```
fitnessTextArea = uitextarea(f, ...  
    'Position', [30 30 680 280], ...  
    'Editable', 'off', ...  
    'FontName', 'Courier New', ...  
    'FontSize', 11, ...  
    'Value', {'Log Fitness ACO akan ditampilkan di sini...'});
```

```
% ===== FUNGSI UPLOAD =====
```

```
function pilihFile()  
    [file, path] = uigetfile('*.xlsx', 'Pilih File Excel');  
    if isequal(file, 0)  
        lblFile.Text = 'Tidak ada file yang dipilih';  
    else  
        filePath = fullfile(path, file);  
        lblFile.Text = ['File: ' file];  
    end  
end
```

```
% ===== FUNGSI PROSES =====
```

```
function jalankanACO()  
    try  
        % Validasi file  
        if isempty(filePath)  
            uialert(f, 'Silakan upload file gangguan terlebih dahulu', 'File Belum Dipilih');
```

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

```

        return;
    end

    % Ambil input dari GUI
    numCandidates = edit1.Value;
    numReclosers = edit2.Value;
    maxIter = edit3.Value;
    numAnts = edit4.Value;

    % Load data
    gangguanTable = load_gangguan_data(filePath);
    totalPelanggan = sum(gangguanTable.Jumlah_Pelanggan);

    % Simulasi sebelum recloser
    [saidi_before, saifi_before, caidi_before, ~] = ...
        simulate_reliability(gangguanTable, [], totalPelanggan);

    % Optimasi dengan ACO
    [bestComb, bestSAIDI, bestSAIFI, bestCAIDI, fitnessLog] = ...
        aco_recloser(gangguanTable, totalPelanggan, ...
            numCandidates, numReclosers, maxIter, numAnts);

    % Tampilkan hasil ke label
    hasilStr = sprintf([ ...
        'Sebelum Recloser ? SAIDI = %.3f | SAIFI = %.3f | CAIDI ...
        'Setelah Recloser ? SAIDI = %.3f | SAIFI = %.3f | CAIDI ...
        'Lokasi Optimal Recloser: [%s]'], ...
        saidi_before, saifi_before, caidi_before, ...
        bestSAIDI, bestSAIFI, bestCAIDI, ...
        strjoin(string(bestComb), ', '));
    outLabel.Text = hasilStr;

    % Simpan hasil ke Excel
    if ~exist('output', 'dir'); mkdir('output'); end
    outputFile = fullfile('output', 'hasil_recloser.xlsx');
    writecell({ ...

```



Hak Cipta: Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

```

'Kondisi', 'Lokasi Recloser', 'SAIDI', 'SAIFI', 'CAIDI';

'Sebelum', '-', saidi_before, saifi_before, caidi_before;

'Sesudah', num2str(bestComb), bestSAIDI, bestSAIFI,
bestCAIDI ...
}, outputFile, 'Sheet', 1, 'Range', 'A1');

% Log fitness ke GUI
logLines = strings(maxIter, 1);
for i = 1:maxIter
    logLines(i) = sprintf('Iterasi %3d: Fitness (SAIDI) = %.4f', i, fitnessLog(i));
end
fitnessTextArea.Value = logLines;

% Tampilkan grafik konvergensi
figure('Name', 'Grafik Konvergensi Fitness ACO');
plot(1:maxIter, fitnessLog, '-o', 'LineWidth', 2);
xlabel('Iterasi');
ylabel('Fitness (SAIDI)');
title('Grafik Konvergensi Fitness ACO');
grid on;

catch err
    uialert(f, sprintf('Terjadi kesalahan:\n%s', err.message),
    'Error');
end
end
end

```



Lampiran 2. load_gangguan_data.m

load_gangguan_data.m

% Membaca file Excel gangguan dan mengubahnya ke tabel

```
function T = load_gangguan_data(filename)
```

```
try
```

```
T = readtable(filename);
```

```
% Validasi kolom
```

```
requiredCols = {'Segmen', 'Durasi', 'Jumlah_Pelanggan',  
Frekuensi'};
```

```
for i = 1:length(requiredCols)
```

```
if ~ismember(requiredCols{i}, T.Properties.VariableNames)
```

```
error('Kolom "%s" tidak ditemukan dalam file Excel.',
```

```
requiredCols{i});
```

```
end
```

```
end
```

```
catch ME
```

```
error('Gagal membaca file gangguan: %s', ME.message);
```

```
end
```

```
end
```

Hak Cipta Diilangungi Undang-Undang

1. Diilangungi sebagai karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Lampiran 3. aco_recloser.m

```
function [bestComb, bestSAIDI, bestSAIFI, bestCAIDI, fitnessLog] = ...
    aco_recloser(gangguanTable, totalPelanggan, numCandidates,
        numReclosers, maxIter, numAnts)

% === Parameter ACO ===
alpha = 1;           % Pengaruh pheromone
beta = 2;             % Pengaruh visibility
rho = 0.5;            % Laju evaporasi pheromone
Q = 100;              % Konstanta kontribusi pheromone

% === Ambil dan Validasi Data Segmen ===
segmenList = unique(gangguanTable.Segmen);
numSegmen = numel(segmenList);

if numCandidates > numSegmen
    error('Jumlah kandidat (%d) > jumlah segmen tersedia (%d)',
        numCandidates, numSegmen);
end
if numReclosers > numCandidates
    error('Jumlah recloser (%d) tidak boleh > kandidat (%d)',
        numReclosers, numCandidates);
end

% === Ambil kandidat segmen ===
candidateSegmen = segmenList(1:numCandidates);

% === Inisialisasi pheromone dan visibility ===
pheromone = ones(numCandidates, 1);
visibility = zeros(numCandidates, 1);
for i = 1:numCandidates
    idx = gangguanTable.Segmen == candidateSegmen(i);
    % Dampak = Frekuensi x Jumlah Pelanggan x Durasi
    visibility(i) = sum(gangguanTable.Frekuensi(idx) .* ...
        gangguanTable.Durasi(idx) .* ...
        gangguanTable.Jumlah_Pelanggan(idx));
end

% Normalisasi visibility
```

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

```

if max(visibility) > 0
    visibility = visibility / max(visibility);
else
    visibility = ones(numCandidates, 1);
end

% === Inisialisasi solusi terbaik ===
bestFitness = inf;
bestComb = [];
bestSAIDI = 0;
bestSAIFI = 0;
bestCAIDI = 0;
fitnessLog = zeros(maxIter, 1);

% === Proses ACO ===
for iter = 1:maxIter
    allComb = zeros(numAnts, numReclosers);
    allFitness = zeros(numAnts, 1);

    for ant = 1:numAnts
        % Probabilitas pemilihan kandidat
        probs = (pheromone .^ alpha) .* (visibility .^ beta);
        probs = probs / sum(probs);

        % Pilih kombinasi unik
        % === PILIH KOMBINASI TANPA PENGULANGAN DENGAN BOBOT ===
        selected = false(numCandidates, 1);
        pilihanIdx = zeros(1, numReclosers);

        tempProbs = probs;
        for r = 1:numReclosers
            tempProbs(selected) = 0; % Hilangkan
            % Normalisasi
            tempProbs = tempProbs / sum(tempProbs);

            % Roulette wheel selection
            cumsumProbs = cumsum(tempProbs);

```



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

```

rVal = rand();
pilih = find(cumsumProbs >= rVal, 1, 'first');
pilihanIdx(r) = pilih;
selected(pilih) = true;
end

pilihan = candidateSegmen(pilihanIdx);

% Simpan kombinasi
allComb(ant, :) = pilihanIdx;

% Hitung fitness
[caidi, fitness, saidi, ~, saifi, ~] = myCost(pilihan,
rangguanTable, totalPelanggan);
allFitness(ant) = fitness;

% Tampilkan log semut
fprintf('Iterasi %2d - Semut %2d: [%s] ? Fitness = %.4f\n',
iter, ant, strjoin(string(pilihan), ', '), fitness);

% Update solusi terbaik
if fitness < bestFitness
    bestFitness = fitness;
    bestComb = pilihan;
    bestSAIDI = saidi;
    bestSAIFI = saifi;
    bestCAIDI = caidi;
end
end

% Simpan fitness terbaik tiap iterasi
fitnessLog(iter) = bestFitness;

% ==== Update pheromone ====
pheromone = (1 - rho) * pheromone;
for ant = 1:numAnts
    for r = 1:numReclosers

```

UIN SUSKA RIAU


```
idx = allComb(ant, r);  
pheromone(idx) = pheromone(idx) + Q / allFitness(ant);
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU



UIN SUSKA RIAU



Lampiran 4. myCost.m

```
function [saidifil, fitness1, saidil, saiditot1, saifil, saifitot1] =
myCost(posisi, gangguanTable, totalPelanggan)
% Fungsi evaluasi: hitung SAIDI, SAIFI, CAIDI berdasarkan lokasi
% pelanggan
n = height(gangguanTable);
saifi = zeros(n,1);
saidi = zeros(n,1);
for i = 1:n
    segmen = gangguanTable.Segmen(i);
    if ismember(segmen, posisi) || ismember(segmen-1, posisi) ||
ismember(segmen+1, posisi)
        faktorReduksi = 0.2;
    else
        faktorReduksi = 1.0;
    end

    frek = gangguanTable.Frekuensi(i) * faktorReduksi;
    durasi = gangguanTable.Durasi(i) * faktorReduksi;
    pelanggan = gangguanTable.Jumlah_Pelanggan(i);

    saifi(i) = frek * pelanggan;
    saidi(i) = durasi * pelanggan;
end

% Hitung total sistem
totalSAIFI = sum(saifi);
totalSAIDI = sum(saidi);

SAIFI = totalSAIFI / totalPelanggan;
SAIDI = totalSAIDI / totalPelanggan;

% Hindari pembagian nol atau terlalu kecil
if SAIFI < 1e-6
    CAIDI = 0;
else
    CAIDI = SAIDI / SAIFI;
```

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

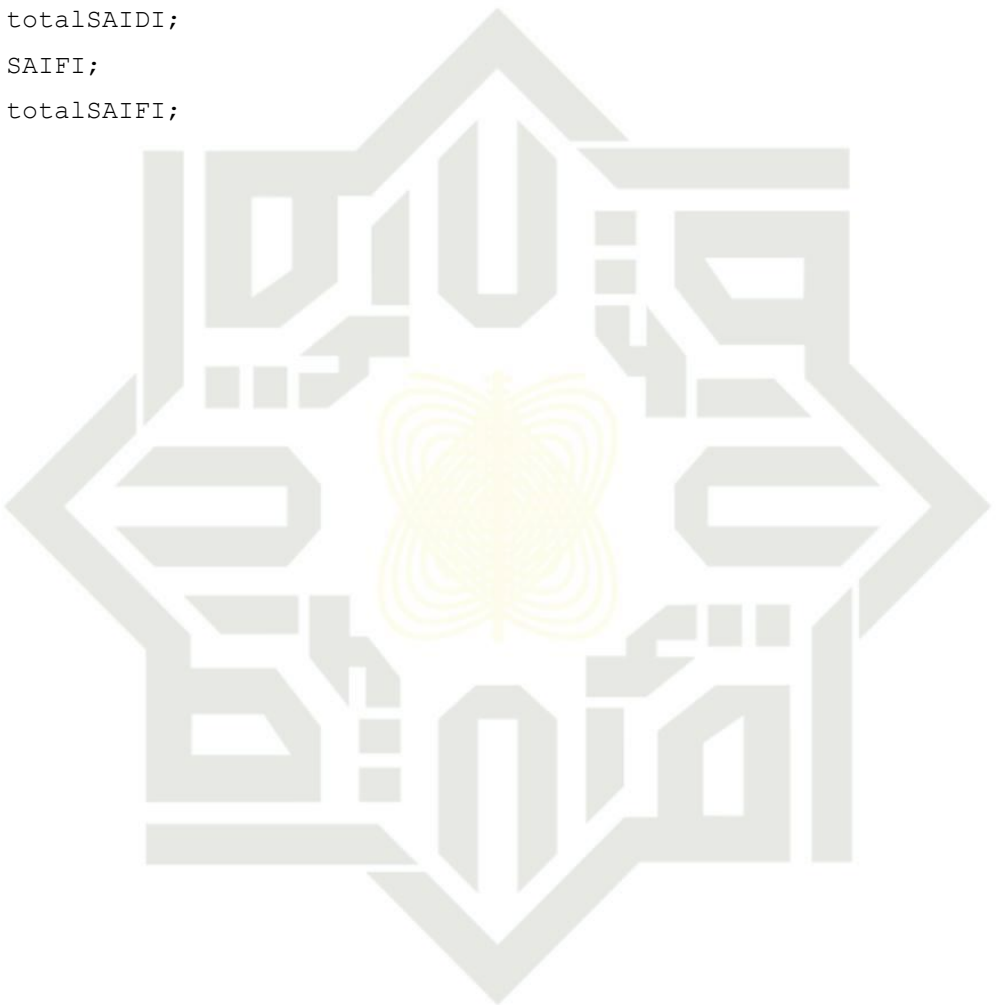


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

```
end
% Output
saifil1 = CAIDI;
fitness1 = 0.6 * SAIDI + 0.4 * SAIFI; % bisa dimodifikasi, misal:
w1*SAIDI + w2*SAIFI
saifil1 = SAIDI;
saifitot1 = totalSAIDI;
saifil1 = SAIFI;
saifitot1 = totalSAIFI;
```

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU



Lampiran 6. Simulate_reliability.m

```
function [SAIDI, SAIFI, CAIDI, detailTable] =
    simulate_reliability(gangguanTable, recloserLoc, totalPelanggan)

% Ambil data
segmen      = gangguanTable.Segmen;
durasi      = gangguanTable.Durasi;
pelanggan  = gangguanTable.Jumlah_Pelanggan;
frekuensi   = gangguanTable.Frekuensi;

% Inisialisasi total
totalDurasi    = 0;
totalFrekuensi = 0;

% Simpan hasil tiap segmen
uniqueSegmen = unique(segmen);
numSegmen    = numel(uniqueSegmen);
saidiList    = zeros(numSegmen, 1);
saifiList    = zeros(numSegmen, 1);

for s = 1:numSegmen
    seg = uniqueSegmen(s);
    idx = segmen == seg;
    durasiSeg      = durasi(idx);
    pelangganSeg   = pelanggan(idx);
    frekuensiSeg   = frekuensi(idx);

    segTotalDurasi    = 0;
    segTotalFrekuensi = 0;

    for i = 1:numel(durasiSeg)
        gangguanSegmen = seg;
        isBlocked = any(gangguanSegmen < recloserLoc);

        if isBlocked
            dampakPelanggan = 0.3 * pelangganSeg(i); % diasumsikan
        else
            dampakPelanggan = pelangganSeg(i);
        end
    end
end
```

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

©Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

hanya

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

```

d = durasiSeg(i) * dampakPelanggan;
f = frekuensiSeg(i) * dampakPelanggan;

segTotalDurasi      = segTotalDurasi + d;
segTotalFrekuensi   = segTotalFrekuensi + f;

totalDurasi         = totalDurasi + d;
totalFrekuensi      = totalFrekuensi + f;

end

saidiList(s) = segTotalDurasi / totalPelanggan;
saifiList(s) = segTotalFrekuensi / totalPelanggan;

end

% Hitung SAIDI, SAIFI, CAIDI total sistem
SAIDI = totalDurasi / totalPelanggan;
SAIFI = totalFrekuensi / totalPelanggan;

if SAIFI < 1e-6 % hindari pembagian dengan nol atau sangat kecil
    CAIDI = 0;
else
    CAIDI = SAIDI / SAIFI;
end

% Tabel detail per segmen
detailTable = table(uniqueSegmen, saidiList, saifiList, ...
    'VariableNames', {'Segmen', 'SAIDI', 'SAIFI'});

% Log untuk debug
fprintf('--- REKAP TOTAL SISTEM ---\n');
fprintf('Total Durasi      : %.3f\n', totalDurasi);
fprintf('Total Frekuensi     : %.3f\n', totalFrekuensi);
fprintf('Total Pelanggan     : %d\n', totalPelanggan);
fprintf('>> SAIDI        : %.6f\n', SAIDI);
fprintf('>> SAIFI        : %.6f\n', SAIFI);
fprintf('>> CAIDI        : %.6f\n', CAIDI);
    
```

end