

TUGAS AKHIR
PENEMPATAN RECLOSER GUNA MEMAKSIMALKAN KINERJA
SISTEM TENAGA LISTRIK DI JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV
PADA PT. PLN (PERSERO) AREA MEDAN

Diajukan untuk memenuhi Tugas-Tugas dan Syarat-Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

DISUSUN OLEH:
MUHAMMAD FADLAN WIJAYA
2007220049



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Fadlan Wijaya
NPM : 2007220049
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Penempatan Recloser Guna Memaksimalkan Kinerja Sistem
Tenaga Listrik Di Jaringan Distribusi 20 KV Pada PT. PLN
(Persero) Area Medan
Bidang ilmu : Sistem Kontrol

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 29 Agustus 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



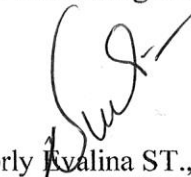
Partaonan Harahap, S.T., M.T

Dosen Pembimbing I / Penguji



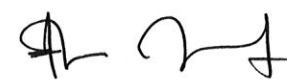
Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M. T

Dosen Pembimbing II / Peguji



Noorly Kyalina ST., MT

Program Studi Teknik Elektro
Ketua,



Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Fadlan Wijaya
Tempat /Tanggal Lahir : Medan, 30 Mei 2002
NPM : 2007220049
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Penempatan Recloser Guna Memaksimalkan Kinerja Sistem Tenaga Listrik Di Jaringan Distribusi 20 KV Pada PT. PLN (Persero) Area Medan

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September 2025

Saya yang menyatakan,



MUHAMMAD FADLAN WIJAYA

ABSTRAK

Sistem tenaga listrik merupakan infrastruktur vital yang mendukung berbagai sektor kehidupan. Keandalan jaringan distribusi sangat penting untuk menjaga kontinuitas pasokan energi. Salah satu perangkat proteksi utama adalah recloser, yang secara otomatis mendeteksi dan memutus aliran listrik saat terjadi gangguan, lalu menghubungkannya kembali setelah jeda tertentu. Perangkat ini efektif mengurangi dampak gangguan sementara dan meningkatkan stabilitas sistem distribusi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penempatan recloser terhadap keandalan pasokan listrik pada jaringan distribusi 20 kV di PT. PLN (Persero) Area Medan. Fokus penelitian meliputi efektivitas recloser dalam mengurangi gangguan, serta pengaruh penempatan optimalnya terhadap nilai SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) dan SAIDI (System Average Interruption Duration Index). Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan pengumpulan data jaringan, beban, gangguan, serta data teknis recloser. Analisis dilakukan dengan perangkat lunak ETAP serta metode optimasi menggunakan Particle Swarm Optimization (PSO). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penempatan recloser yang optimal terdapat pada section 7, dengan nilai SAIFI sebesar 0,0035 dan SAIDI sebesar 0,0275. Jika dibandingkan dengan kondisi eksisting yang memiliki SAIFI sebesar 0,8933 dan SAIDI sebesar 2,407, maka terjadi peningkatan keandalan jaringan yang signifikan. Proses optimasi dengan PSO juga terbukti cepat dan efisien, di mana konvergensi menuju solusi terbaik tercapai pada iterasi ke-5. Dengan demikian, penempatan recloser yang tepat mampu meningkatkan keandalan pasokan listrik, mengurangi durasi pemadaman, serta mendukung stabilitas sistem distribusi tenaga listrik pada jaringan 20 kV.

Kata Kunci: Recloser, Distribusi 20 kV, Keandalan, SAIFI, SAIDI.

ABSTRACT

The electric power system is a vital infrastructure that supports various sectors of life. The reliability of the distribution network is crucial to maintain the continuity of energy supply. One of the main protection devices is the recloser, which automatically detects and disconnects the power supply when a disturbance occurs, then reconnects it after a certain delay. This device effectively reduces the impact of temporary disturbances and increases the stability of the electricity distribution system. This study aims to analyze the effect of recloser placement on the reliability of electricity supply in the 20 kV distribution network at PT. PLN (Persero) Medan Area. The focus of the study includes the effectiveness of reclosers in reducing disturbances, as well as the effect of their optimal placement on the SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) and SAIDI (System Average Interruption Duration Index) values. The method used is a quantitative approach by collecting network, load, disturbance, and recloser technical data. The analysis was carried out using ETAP software and an optimization method using Particle Swarm Optimization (PSO). The results show that the optimal recloser placement is in section 7, with a SAIFI value of 0.0035 and a SAIDI of 0.0275. Compared to the existing condition, which has a SAIFI of 0.8933 and a SAIDI of 2.407, there is a significant increase in network reliability. The optimization process with PSO also proved fast and efficient, with convergence to the best solution achieved in the 5th iteration. Thus, proper recloser placement can improve power supply reliability, reduce outage duration, and support the stability of the power distribution system on the 20 kV network.

Keywords: Recloser, 20 kV Distribution, Reliability, SAIFI, SAIDI

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Penempatan Recloser Guna Memaksimalkan Kinerja Sistem Tenaga Listrik di Jaringan Distribusi 20 kV pada PT. PLN (Persero) Area Medan” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU). Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Orang tua saya yang telah mendukung saya dalam keadaan apapun untuk menuliskan tugas akhir ini.
2. Bapak Partaonan Harahap, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Ibu Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd. selaku ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Benny Oktorialdi, S.T., M.T. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T., M.T. selaku Penguji Satu Dalam Pelaksanaan Tugas Akhir Saya.
7. Ibu Noorly Evalina, ST, MT Selaku Penguji Dua Dalam Pelaksanaan Tugas Akhir Saya.
8. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik elektroan kepada penulis.

9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

10. Teman-teman Seperjuangan Teknik Elektro Stambuk 2020

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga Proposal Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-elektro.

Medan, 21 Juli 2025

Muhammad Fadlan Wijaya

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Sistematis Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan.....	5
2.2 Landasan Teori	7
2.3 Sistem Distribusi	8
2.3.1 Jaringan Distribusi Radial.....	14
2.3.2 Jaringan Distribusi Loop (Melingkar)	14
2.1.3 Jaringan Distribusi Spindle.....	15
2.1.4 Jaringan Hantaran Penghubung (Tie Line)	17
2.1.5 Jaringan Anyaman (Mesh/Grid/Gugus/Cluster)	18
2.4 Recloser	18
2.4.1 Bushing	20
2.4.2 Manual Trip	21
2.4.3 Surge Arrester	22
2.4.4 Ground Stud.....	23
2.4.5 Peredam (Damping Device).....	24
2.5 Keandalan Sistem Tenaga Listrik	25
2.6 SAIFI	26

2.7 SAIDI	28
2.8 ETAP	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	46
3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian	46
3.1.1 Tempat.....	46
3.1.2 Waktu	46
3.2 Alat Dan Bahan.....	47
3.4 Prosedur Pengujian.....	47
3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	47
3.8 Metode Penelitian.....	48
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Jaringan Radial.....	14
Gambar 2. 2 Struktur Jaringan Loop.....	15
Gambar 2. 3 Struktur Jaringan Spindle	16
Gambar 2. 4 Struktur Jaringan Hantaran Penghubung (Tie Line)	17
Gambar 2. 5 Struktur Jaringan Anyaman.....	18
Gambar 2. 6 Recloser.....	20
Gambar 2. 7 Bushing	20
Gambar 2. 8 Manual Trip.....	22
Gambar 2. 9 Surge Arrester.....	22
Gambar 2. 10 Ground Stud	23
Gambar 2. 11 ETAP	33
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	49

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era globalisasi sistem tenaga listrik merupakan tulang punggung dari kemajuan dan perkembangan suatu negara, karena keberlangsungan operasional berbagai sektor ekonomi sangat bergantung pada pasokan listrik yang andal dan stabil. Di Indonesia, PT. PLN (Persero) sebagai perusahaan penyedia jasa listrik utama terus berupaya untuk meningkatkan kualitas layanan. Salah satunya adalah pendistribusian listrik kepada pelanggan.

Jaringan distribusi merupakan jaringan yang menghubungkan dari sumber daya listrik besar (gardu induk) menuju konsumen atau pemakai listrik yaitu pabrik, industri, atau rumah tangga. Jaringan distribusi yang digunakan untuk mendistribusikan aliran energi listrik tidak luput dari berbagai gangguan yang mungkin terjadi yang dapat mengganggu pengiriman aliran tenaga listrik ke konsumen yang mengakibatkan pemadaman aliran listrik dan juga kerusakan pada peralatan yang dipakai. Dalam hal ini jaringan distribusi harus menggunakan suatu peralatan proteksi yang dapat mengamankan kelancaran suplai aliran listrik kekonsumen dari berbagai gangguan terjadi pada aliran listrik, salah satu alat proteksinya adalah recloser [1].

Recloser adalah perangkat proteksi otomatis yang digunakan dalam sistem distribusi tenaga listrik untuk mendeteksi dan mengatasi gangguan pada jaringan. Fungsi utama recloser adalah mendeteksi gangguan seperti arus lebih, korsleting, dan lonjakan arus dengan menggunakan sensor yang terpasang. Saat gangguan terdeteksi, recloser akan secara otomatis memutus aliran listrik untuk mencegah kerusakan lebih lanjut pada sistem dan peralatan yang terhubung. Setelah itu, recloser akan mencoba menghubungkan kembali aliran listrik setelah interval waktu tertentu, dan proses ini dapat terjadi beberapa kali sesuai dengan pengaturan recloser [2].

Salah satu solusi yang telah terbukti efektif dalam meningkatkan keandalan jaringan distribusi adalah dengan penempatan recloser yang tepat. Dengan penempatan recloser yang optimal, gangguan sementara seperti yang disebabkan oleh petir atau gangguan hewan dapat diatasi dengan cepat dan efisien tanpa memerlukan intervensi manual dari teknisi, sehingga dapat secara signifikan mengurangi durasi pemadaman

listrik dan meningkatkan keandalan. Implementasi yang tepat dari recloser tidak hanya membantu mengurangi durasi gangguan, tetapi juga memastikan bahwa sistem distribusi listrik dapat beroperasi dengan lebih stabil dan efisien.

Berdasarkan kajian diatas maka penelitian ini akan mengkaji penempatan recloser guna memaksimalkan kinerja sistem tenaga listrik di jaringan distribusi 20 kV pada PT. PLN (Persero) Area Medan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diambil pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penempatan recloser terhadap keandalan pasokan listrik di jaringan distribusi 20 kV pada PT. PLN (Persero) Area Medan?
2. Seberapa andal atau efektif recloser dalam mengurangi gangguan listrik di jaringan distribusi 20 kV pada PT. PLN (Persero) Area Medan?
3. Seberapa besar pengaruhi penempatan recloser terhadap nilai SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) dan SAIDI (System Average Interruption Duration Index) di jaringan distribusi 20 kV pada PT. PLN (Persero) Area Medan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari analisis ini yaitu:

1. Menganalisis pengaruh penempatan recloser terhadap keandalan pasokan listrik di jaringan distribusi 20 kV pada PT. PLN (Persero) Area Medan
2. Menganalisis keandalan atau efektifitas recloser dalam mengurangi gangguan listrik di jaringan distribusi 20 kV pada PT. PLN (Persero) Area Medan
3. Menganalisis besar pengaruhi penempatan recloser terhadap nilai SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) dan SAIDI (System Average Interruption Duration Index) di jaringan distribusi 20 kV pada PT. PLN (Persero) Area Medan

1.4 Ruang Lingkup

Pada penelitian ini, adapun ruang lingkup yang dihadapi adalah

1. Menjaga kontinuitas pelayanan energi listrik ke konsumen pada PT. PLN (Persero) Area Medan
2. Penelitian ini akan berfokus pada pemaksimalan penempatan recloser di jaringan distribusi 20 kV pada PT. PLN (Persero) Area Medan
3. Penelitian ini akan menggunakan metode pengambilan data di lapangan dan memahami pengaruh penempatan recloser terhadap penempatan recloser di jaringan distribusi 20 kV pada PT. PLN (Persero) Area Medan

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini yaitu:

1. Penelitian ini dapat membantu dalam mengidentifikasi dan mengimplementasikan strategi yang efektif untuk menjaga kontinuitas pelayanan energi listrik
2. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang penempatan recloser, langkah-langkah perbaikan dan peningkatan efisiensi dapat diambil untuk mengoptimalkan energi listrik.
3. Hasil penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang pemaksimalan penempatan recloser di jaringan distribusi 20 kV

1.6. Sistematis Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang pendahuluan, latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka relevan, yang mana berisikan tentang teori-teori penunjang keberhasilan didalam masalah pembuatan tugas akhir ini. Ada juga teori dasar yang berisikan tentang penjelasan dari dasar teori dan penjelasan komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang letak lokasi penelitian, fungsi-fungsi dari alat dan bahan penelitian, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan, tata cara dalam pengujian, dan struktur dari langkah-langkah pengujian.

BAB 4 ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang analisis hasil dari penelitian, serta penyelesaian masalah yang terdapat didalam penelitian ini.

BAB 5 PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran-saran positif untuk pengembangan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Jaringan distribusi merupakan jaringan yang menghubungkan dari sumber daya listrik besar (gardu induk) menuju konsumen atau pemakai listrik yaitu pabrik, industri, atau rumah tangga. Jaringan distribusi yang digunakan untuk mendistribusikan aliran energi listrik tidak luput dari berbagai gangguan yang mungkin terjadi yang dapat mengganggu pengiriman aliran tenaga listrik ke konsumen yang mengakibatkan pemadaman aliran listrik dan juga kerusakan pada peralatan yang dipakai. Dalam hal ini jaringan distribusi harus menggunakan suatu peralatan proteksi yang dapat mengamankan kelancaran suplai aliran listrik kekonsumen dari berbagai gangguan terjadi pada aliran listrik, salah satu alat proteksinya adalah recloser [1]

Meningkatnya kebutuhan energi listrik menuntut sistem distribusi tenaga listrik memiliki sistem keandalan yang tinggi. Salah satu cara meningkatkan keandalan pada jaringan radial dapat dilakukan dengan cara memasang recloser. Recloser berfungsi sebagai pemutus dan penyambung aliran listrik secara otomatis apabila terjadi gangguan pada suatu jaringan. Pemasangan recloser harus didasari dengan perhitungan yang benar agar memiliki fungsi yang optimal [3].

Recloser adalah perangkat proteksi otomatis yang digunakan untuk mengidentifikasi dan memulihkan gangguan pada jaringan distribusi listrik. Recloser bekerja dengan cara memutuskan dan kemudian menghubungkan kembali sirkuit secara otomatis jika terdeteksi adanya gangguan. Recloser dapat mengurangi frekuensi dan durasi pemadaman dengan cepat mengatasi gangguan sementara dan mengisolasi gangguan permanen. yang menunjukkan bahwa penempatan recloser dapat meningkatkan keandalan sistem distribusi dengan mengurangi jumlah pelanggan yang terpengaruh oleh gangguan dan mempercepat pemulihan sistem.

Fungsi recloser adalah sebagai alat untuk memperkecil daerah jaringan listrik yang terkena gangguan. Pemasangan recloser selama ini hanya berdasarkan jarak aman antara suatu recloser dengan komponen pemutus lainnya dan belum mempertimbangkan banyak pelanggan di daerah yang dilindungi. Berdasarkan data parameter kinerja recloser dan lokasi penempatan recloser dilakukan perhitungan nilai indeks keandalan dari tiap-tiap lokasi penempatan recloser sehingga diperoleh hasil yang optimal [4].

Keberhasilan recloser dalam meningkatkan keandalan sistem sangat bergantung pada penempatan yang optimal. Penempatan recloser harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti lokasi gangguan yang sering terjadi, distribusi beban, dan konfigurasi jaringan distribusi. Penempatan yang optimal dari recloser sangat penting untuk memaksimalkan manfaat dari perangkat ini. Penempatan yang tidak strategis dapat mengurangi efektivitas recloser dalam mengatasi gangguan dan meningkatkan biaya operasional. Oleh karena itu, analisis yang cermat dan pemodelan yang akurat diperlukan untuk menentukan lokasi terbaik untuk recloser dalam jaringan distribusi.

Indeks keandalan sistem tenaga listrik jaringan distribusi 20kV dapat diketahui dengan cara membandingkan antara nilai SAIDI dan SAIFI dari setiap gardu pada suatu penyulang yang digunakan untuk pemilihan titik penempatan recloser yang paling optimal berdasarkan indeks keandalan sistem tenaga listrik. Penempatan recloser berdasarkan keandalan tenaga listrik. Dengan semakin kecilnya nilai SAIDI dan SAIFI, maka semakin optimal posisi penempatan recloser pada sebuah penyulang. Solusi untuk meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik, salah satu metode yang digunakan adalah dengan menghitung nilai SAIDI dan SAIFI pada setiap transformator [5].

2.2 Landasan Teori

Dalam distribusi tenaga listrik, recloser adalah pemutus sirkuit yang dilengkapi dengan mekanisme otomatis yang dapat menutup setelah terjadi suatu kesalahan yaitu trip. Recloser digunakan pada SUTM untuk mendeteksi dan menanggulangi jika terjadi kesalahan sesaat. Recloser merupakan perangkat proteksi otomatis yang berfungsi untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik dengan cara mendeteksi, memutuskan, dan menyambungkan kembali sirkuit secara otomatis ketika terjadi gangguan. Recloser bekerja dengan memantau aliran listrik dan mendeteksi gangguan seperti hubung singkat atau gangguan sementara. Ketika gangguan terdeteksi, recloser akan memutuskan aliran listrik dalam sirkuit untuk melindungi peralatan sistem dan mencegah kerusakan lebih lanjut dan menyambungkan kembali sirkuit secara otomatis. Jika gangguan bersifat sementara, pasokan listrik dapat dipulihkan tanpa memerlukan intervensi manual. Namun, jika gangguan bersifat permanen, recloser akan mengisolasi bagian yang mengalami gangguan dan mengaktifkan proteksi tambahan, seperti pemutus sirkuit [6].

Recloser memantau aliran listrik dalam sirkuit distribusi dan mendeteksi gangguan seperti hubung singkat atau gangguan sementara yang disebabkan oleh faktor seperti cabang pohon yang menyentuh saluran listrik atau masalah serupa. Recloser memiliki sensor dan sistem kontrol yang memungkinkan deteksi gangguan secara otomatis dan ketika recloser mendeteksi adanya gangguan, ia secara otomatis memutuskan aliran listrik dalam sirkuit untuk mencegah kerusakan lebih lanjut pada peralatan dan memastikan keselamatan sistem. Pemutusan ini juga membantu mencegah penyebaran gangguan ke bagian lain dari jaringan distribusi [7].

Recloser harus ditempatkan secara strategis dalam jaringan distribusi untuk memaksimalkan manfaatnya. Penempatan yang tepat dapat melindungi bagian penting dari jaringan distribusi dan mengurangi dampak gangguan terhadap pelanggan. Recloser sering dipasang pada titik-titik kritis seperti batas antara feeder utama dan cabang distribusi, di mana ia dapat menangani gangguan dengan efektif dan memastikan keandalan sistem distribusi.

2.3 Recloser

Recloser adalah rangkaian listrik yang terdiri pemutus tenaga yang dilengkapi kotak kontrol elektronik (Electronic Control Box) recloser, yaitu suatu peralatan elektronik sebagai kelengkapan recloser dimana peralatan ini tidak berhubungan dengan tegangan menengah dan pada peralatan ini recloser dapat dikendalikan cara pelepasannya. dalam kotak kontrol inilah pengaturan (setting) recloser dapat ditentukan.

Alat pengaman ini bekerja secara otomatis guna mengamankan suatu sistem dari arus lebih yang diakibatkan adanya gangguan hubung singkat. Cara bekerjanya adalah untuk menutup balik dan membuka secara otomatis yang dapat diatur selang waktunya, dimana pada sebuah gangguan temporer, recloser tidak membuka tetap (lock out), kemudian recloser akan menutup kembali setelah gangguan itu hilang. Apabila gangguan bersifat permanen, maka setelah membuka atau menutup balik sebanyak setting yang telah ditentukan kemudian recloser akan membuka tetap (lock out).



Gambar 2.1 Recloser Merk Siemens

2.3.1 Fungsi Recloser

Pada suatu gangguan permanen, recloser berfungsi memisahkan daerah atau jaringan yang terganggu sistemnya secara cepat sehingga dapat memperkecil daerah yang terganggu pada gangguan sesaat, recloser akan memisahkan daerah gangguan secara sesaat sampai gangguan tersebut akan dianggap hilang, dengan demikian

recloser akan masuk kembali sesuai settingannya sehingga jaringan akan aktif kembali secara otomatis

2.3.2 Prinsip Kerja Recloser

Recloser hampir sama dengan circuit breaker, hanya recloser dapat diseting untuk bekerja membuka dan menutup kembali beberapa kali secara otomatis. Apabila feeder mendapat gangguan sementara, bila circuit breaker yang digunakan untuk feeder yang mendapat gangguan sementara akan menyebabkan hubungan feeder terputus. recloser yang digunakan diharapkan gangguan sementara tersebut membuat feeder terputus, maka recloser bekerja beberapa kali sampai akhirnya recloser membuka

2.3.3 Cara Kerja Recloser

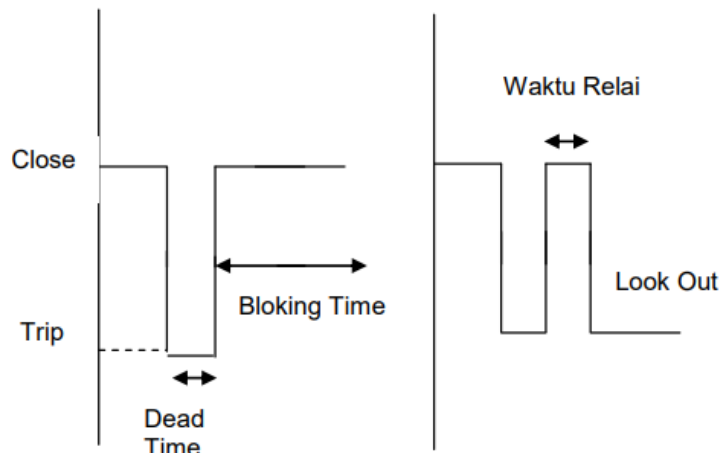
Waktu membuka dan menutup pada recloser dapat diatur pada kurva karakteristiknya. Secara garis besarnya adalah sebagai berikut (PT.PLN (Persero) 1997 : PBO) :

- a. Arus yang mengalir normal bila tidak terjadi gangguan.
- b. jika terjadi sebuah gangguan, arus yang mengalir melalui recloser membuka dengan operasi “fast”.
- c. Kontak recloser akan menutup kembali setelah beberapa detik, sesuai setting yang ditentukan. Tujuan memberikan selang waktu adalah memberi kesempatan agar gangguan tersebut hilang dari sistem, terutama gangguan yang bersifat temporer.
- d. Apabila yang terjadi adalah gangguan permanen, maka recloser akan membuka dan menutup balik sesuai setting yang ditentukan dan kemudian lock out.
- e. Setelah gangguan permanen dibebaskan oleh petugas, baru dapat dikembalikan pada keadaan normal.

2.3.4 Jenis – Jenis Recloser

a. Single-shot Reclosing Relay

Relay hanya dapat memberikan perintah reclosing ke PMT satu kali dan baru dapat melakukan reclosing setelah blocking time terakhir. Bila terjadi gangguan pada periode blocking time, PMT trip dan tidak bisa reclose lagi (lock – out). Close Trip Dead Time Bloking Time Waktu Relai Lock Out

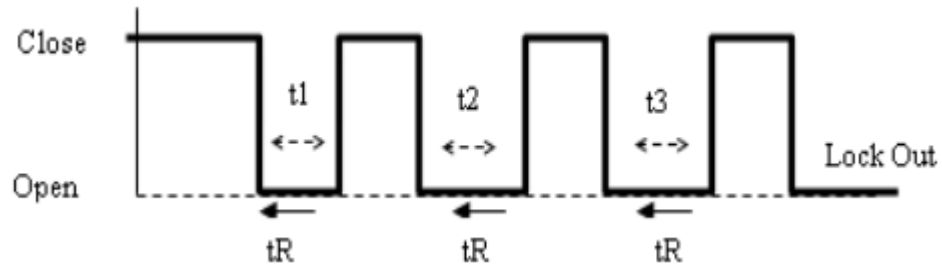


Gambar 2.2 Single-shot Reclosing Relay

b. Multi Shot Reclosing Relay.

Relay ini dapat memberikan perintah reclosing ke PMT lebih dari satu kali, dead time antar reclosing dapat diatur sama atau berbeda bila terjadi gangguan relay OCR/GFR memberikan perintah trip ke PMT. Pada saat yang sama juga mengerjakan (mengenergizing) Reclosing relay. Setelah dead time t_1 yang sangat pendek (kurang dari 0,6 detik), relay memberi perintah reclose ke PMT. Jika gangguan masih ada, PMT akan trip kembali dan reclosing relay akan melakukan reclose yang kedua setelah dead time t_2 yang cukup lama (antara 15- 60 detik). Jika gangguan masih ada, maka PMT akan trip kembali dan reclosing relay akan melakukan reclose yang ke tiga setelah dead time t_3 . Bila gangguannya juga masih ada dalam periode blocking t_R , maka PMT akan trip

dan lock out. Penggunaan multi shot reclosing harus disesuaikan dengan siklus kerja (duty cycle) dari PMT.



Gambar 2.3 Multi Shot Reclosing Relay

Keterangan gambar :

t_1 = dead time dari reclosing pertama

t_2 = dead time dari reclosing kedua

t_3 = dead time dari reclosing ketiga

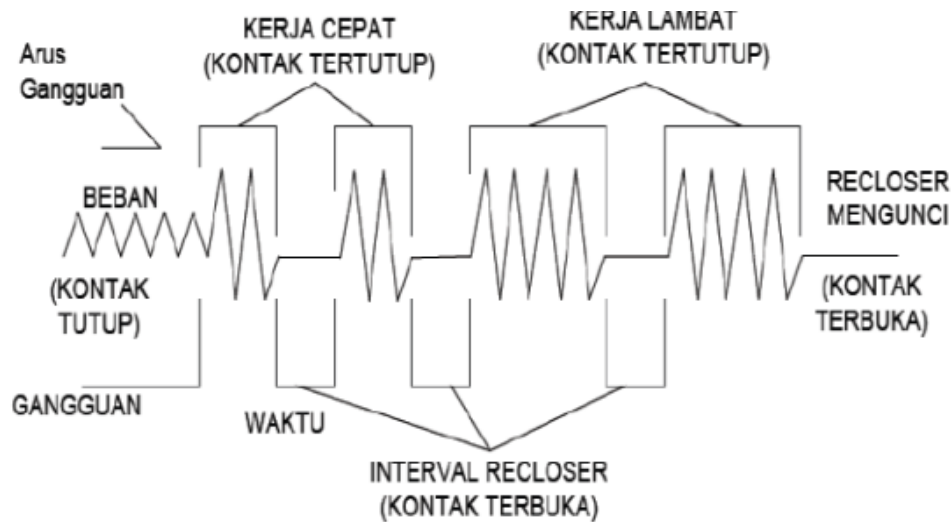
$t_R 1$ = blocking time dari reclosing pertama

$t_R 2$ = blocking time dari reclosing kedua

$t_R 3$ = blocking time dari reclosing ketiga

2.3.5 Proses Operasi Uraian Kerja Recloser

Dimulai dari saat terjadi arus gangguan, sampai terjadi proses buka tutup untuk beberapa kali dan akhirnya melakukan penguncian dapat dilihat seperti gambar berikut ini.



Gambar 2.4 Proses Operasi Kerja Recloser

Pemakaian recloser pada sistem distribusi tergantung pada peralatan-peralatan listrik dari sistem distribusi, koordinasinya dengan peralatan proteksi arus hubung singkat atau arus lebih yang lainnya serta melihat lokasi yang akan di pakai recloser, yang sekiranya lokasi tidak dapat dipantau langsung oleh petugas serta akses yang jauh menuju tempat tujuan dan perlu tindakan yang cepat apabila terjadi gangguan, dan lokasi seperti yang dimaksud perlu dipasang alat pengaman berupa recloser untuk mengatasi apabila terjadi gangguan tersebut, sehingga dapat memperkecil daerah yang terganggu pada gangguan sesaat, recloser akan memisahkan daerah gangguan secara sesaat sampai gangguan tersebut akan dianggap hilang, dengan demikian recloser akan masuk kembali sesuai settingannya sehingga jaringan akan aktif kembali secara otomatis.

2.3 Sistem Distribusi

Sistem distribusi listrik adalah jaringan yang mengalirkan energi listrik dari sumber pembangkit ke konsumen akhir, termasuk rumah, industri, dan bisnis. Sistem ini terdiri dari beberapa elemen penting, seperti saluran distribusi yang dapat berupa kabel udara atau bawah tanah, serta trafo distribusi yang menurunkan tegangan tinggi dari saluran transmisi menjadi tegangan yang lebih rendah untuk penggunaan sehari-

hari. Selain itu, terdapat peralatan pengatur beban, seperti saklar dan pemutus sirkuit, yang berfungsi untuk mengatur dan melindungi sistem dari gangguan serta menjaga kestabilan pasokan listrik.

Fungsi utama sistem distribusi ialah menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari Gardu Induk distribusi (distribution substation) kepada pelanggan listrik dengan mutu pelayanan yang memadai. Salah satu unsur dari mutu pelayanan adalah kontinuitas pelayanan yang tergantung pada topologi dan konstruksi jaringan serta peralatan tegangan menengah. Masalah utama dalam menjalankan fungsi jaringan distribusi tersebut adalah mengatasi gangguan dengan cepat mengingat gangguan yang terbanyak dalam sistem tenaga listrik terdapat dalam jaringan distribusi, khususnya jaringan tegangan menengah.

Pada sistem distribusi tenaga listrik, tingkat kehandalan adalah hal yang sangat penting dalam menentukan kinerja sistem tersebut. Kehandalan ini dapat ditinjau dari sejauh mana suplai tenaga listrik dapat mensuplai secara kontinu ke konsumen. Permasalahan yang paling mendasar pada sistem distribusi tenaga listrik adalah terletak pada mutu, kontinuitas dan ketersediaan pelayanan daya listrik pada pelanggan. Prakiraan kehandalan didasarkan pada sejumlah faktor diantaranya adalah karakteristik operasinya, kondisi operasi dan distribusi kegagalannya. Jadi, langkah pertama untuk memperkirakan kehandalan sistem distribusi adalah menentukan karakteristik operasi dari komponen-komponennya [8].

Jaringan distribusi tenaga listrik adalah jaringan tenaga listrik yang memasok kelistrikan ke beban (pelanggan) menggunakan tegangan menengah 20 kV dan tegangan rendah 220-380 V atau 231-400 V. Jaringan distribusi dengan tegangan menengah 20 kV disebut dengan jaringan distribusi primer, dimana jaringannya mempergunakan antara lain:

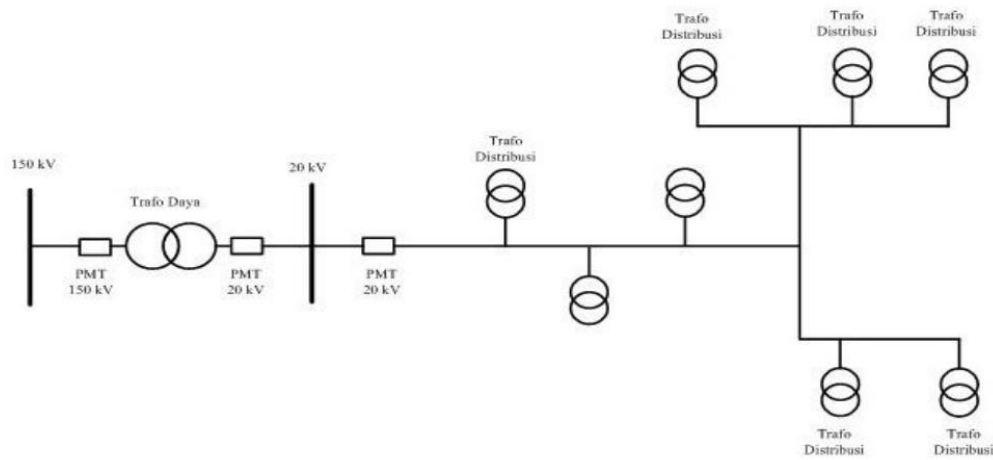
- a. Saluran kabel tegangan menengah (SKTM), mempergunakan kabel XLPE
- b. Saluran udara tegangan menengah (SUTM), mempergunakan kawat A3C, A2C, ACSR atau twisted cable

Struktur jaringan yang berkembang di suatu daerah merupakan kompromi antara alasan-alasan teknis di satu sisi dan ekonomis di sisi lain. Artinya dalam

penentuan struktur jaringan untuk suatu instalasi perlu mempertimbangkan alasan teknis dan alasan ekonomis.

2.3.1 Jaringan Distribusi Radial

Jaringan distribusi radial adalah konfigurasi jaringan listrik di mana saluran distribusi mengalir dari satu titik sumber, seperti gardu induk atau trafo distribusi, ke berbagai titik beban atau konsumen dalam satu arah, menyerupai cabang-cabang pohon. Desain ini sederhana dan ekonomis, memerlukan lebih sedikit peralatan dan infrastruktur, sehingga cocok untuk daerah perumahan [19].



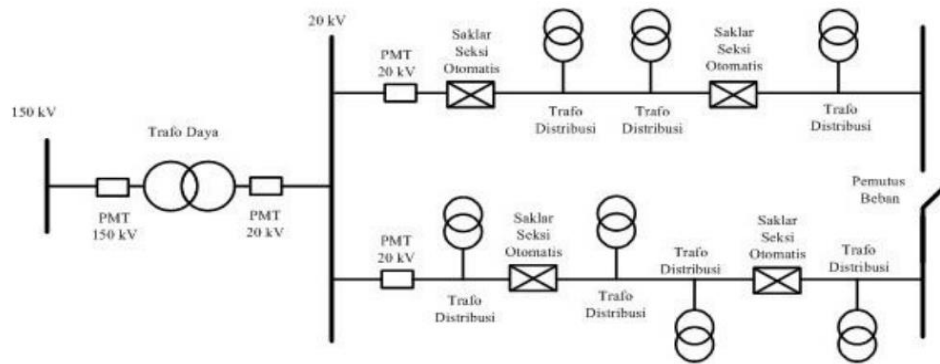
Gambar 2. 1 Struktur Jaringan Radial

Namun, jaringan ini memiliki kelemahan signifikan berupa kerentanan terhadap gangguan: jika terjadi gangguan pada satu titik dalam jalur, semua pelanggan yang berada di bawah titik gangguan tersebut akan mengalami pemadaman. Meskipun demikian, kemudahan dalam pemeliharaan dan biaya yang lebih rendah membuat jaringan distribusi radial tetap populer untuk banyak aplikasi dengan kebutuhan energi yang lebih rendah dan distribusi yang lebih terfokus [9].

2.3.2 Jaringan Distribusi Loop (Melingkar)

Jaringan distribusi loop adalah konfigurasi jaringan listrik di mana saluran distribusi membentuk lingkaran, memungkinkan aliran listrik dari dua arah berlawanan ke setiap titik beban. Konfigurasi ini meningkatkan keandalan dan redundansi karena

jika terjadi gangguan pada satu jalur, listrik masih dapat dialirkan melalui jalur alternatif, sehingga mengurangi risiko pemadaman. Selain itu, jaringan loop memungkinkan isolasi gangguan dengan cepat, hanya mempengaruhi segmen yang rusak sementara bagian lainnya tetap berfungsi. Meskipun menawarkan fleksibilitas operasional yang lebih tinggi, memungkinkan pengalihan beban dan pemeliharaan tanpa mengganggu pasokan listrik, desain dan konstruksi jaringan loop lebih kompleks dan mahal dibandingkan dengan jaringan distribusi radial.



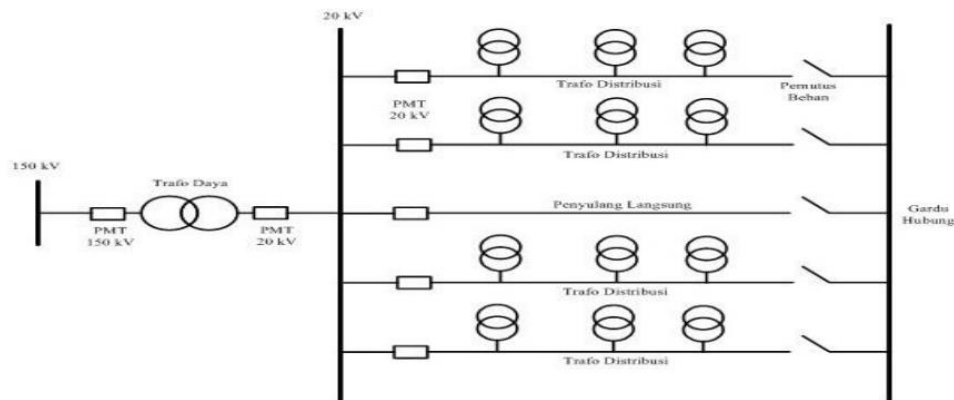
Gambar 2. 2 Struktur Jaringan Loop

Pada gambar 2.2 tampak bahwa pada bagian-bagian tertentu dari sistem rangkaian tertutup dipasang peralatan pemisah/penghubung untuk memerlukan saluran bagian (seksi-seksi), guna memblokir gangguan yang mungkin terjadi pada sistem. Antara saluran primer yang satu dengan saluran primer lainnya juga dipasang peralatan pemutus seksi otomatis yang berfungsi sebagai Loop switch. Untuk memisahkan saluran secara otomatis bila saat salah satu salurannya mengalami gangguan. Pengoperasian dari peralatan pemutus ini juga akan menentukan menentukan pengoperasian normally open (NO) maka system akan bekerja sebagai loop terbuka, sedangkan untuk pengoperasian normally closed (NC) maka system akan bekerja sebagai loop tertutup [10].

2.1.3 Jaringan Distribusi Spindle

Jaringan distribusi spindle adalah konfigurasi jaringan listrik yang menggabungkan elemen-elemen dari jaringan distribusi radial dan loop untuk

meningkatkan keandalan dan fleksibilitas. Dalam sistem ini, saluran distribusi utama (spindle) terhubung ke beberapa saluran cabang yang mendistribusikan listrik ke konsumen. Jaringan spindle menyediakan jalur alternatif untuk aliran listrik, sehingga meningkatkan keandalan sistem; jika satu jalur utama mengalami gangguan, jalur alternatif dapat menjaga pasokan listrik ke konsumen. Fleksibilitasnya memungkinkan pengalihan beban dan isolasi gangguan dengan mudah, memungkinkan operator melakukan pemeliharaan atau perbaikan tanpa mengganggu pasokan listrik secara signifikan. Selain itu, desain ini memungkinkan distribusi daya yang lebih efisien karena beban dapat didistribusikan secara merata di antara beberapa jalur, mengurangi kerugian daya dan meningkatkan stabilitas sistem. Meskipun menawarkan banyak keuntungan, jaringan distribusi spindle lebih kompleks dan mahal untuk dibangun dan dioperasikan dibandingkan dengan jaringan radial, karena membutuhkan lebih banyak peralatan dan infrastruktur untuk mendukung redundansi dan fleksibilitas [11].



Gambar 2. 3 Struktur Jaringan Spindle

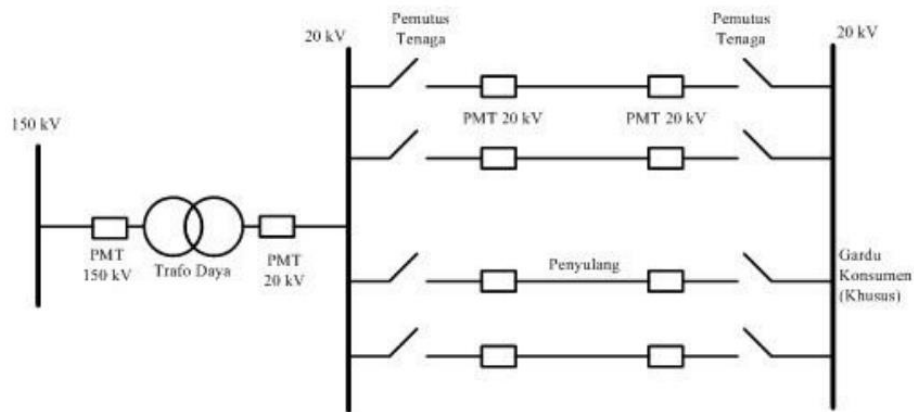
Sistem spindle sangat baik digunakan untuk memenuhi kebutuhan:

- Peningkatan keandalan/ kontinuitas pelayanan sistem.
- Penurunan/ penekanan rugi-rugi akibat gangguan pada system
- Sangat baik digunakan untuk mensuplai daerah beban yang memiliki kerapatan yang cukup tinggi.
- Perluasan jaringan dapat dilakukan dengan mudah/ baik.

- e. Tingkat keandalan dari sistem spindle adalah yang paling baik diantara system jaringan distribusi lainnya, namun kerugiannya adalah biaya investasi awalnya cukup tinggi jika dibandingkan dengan pola jaringan yang sebelumnya.

2.1.4 Jaringan Hantaran Penghubung (Tie Line)

Jaringan hantaran penghubung, atau tie line adalah komponen dalam sistem distribusi listrik yang menghubungkan dua atau lebih jaringan distribusi yang memungkinkan aliran listrik antara mereka untuk meningkatkan fleksibilitas dan keandalan sistem. Dengan menyediakan jalur alternatif untuk aliran listrik, tie line memastikan pasokan tetap berlanjut meskipun salah satu jaringan mengalami gangguan.



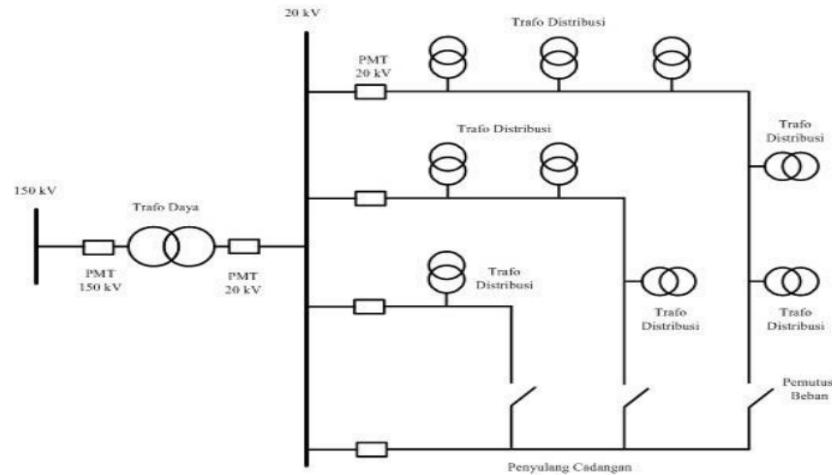
Gambar 2. 4 Struktur Jaringan Hantaran Penghubung (Tie Line)

Selain itu, jaringan ini memungkinkan penyeimbangan beban antara jaringan membantu mencegah kelebihan beban dan memastikan distribusi daya yang efisien, terutama selama puncak permintaan atau pemeliharaan. Kemampuannya untuk mengisolasi gangguan dengan cepat dan mengalihkan beban ke jaringan lain mempercepat pemulihan dari pemadaman. Meskipun meningkatkan keandalan dan fleksibilitas, implementasi tie line lebih kompleks dan mahal karena memerlukan peralatan tambahan dan pengaturan kontrol yang canggih untuk mengelola aliran listrik antar jaringan [12].

2.1.5 Jaringan Anyaman (Mesh/Grid/Gugus/Cluster)

Jaringan anyaman juga dikenal sebagai mesh grid atau cluster grid, adalah konfigurasi jaringan listrik di mana beberapa titik distribusi terhubung langsung satu sama lain, membentuk struktur seperti anyaman. Setiap titik dalam jaringan ini dapat menerima daya dari beberapa sumber sekaligus, menciptakan banyak jalur untuk aliran listrik yang meningkatkan keandalan dan fleksibilitas sistem.

Redundansi tinggi dalam jaringan anyaman memastikan bahwa jika satu jalur mengalami gangguan, listrik masih bisa dialirkan melalui jalur lain, mengurangi risiko pemadaman. Fleksibilitas operasional memungkinkan pengalihan beban dan isolasi gangguan dengan mudah, sehingga operator dapat melakukan pemeliharaan atau perbaikan tanpa mengganggu pasokan listrik. Meskipun lebih kompleks dan mahal untuk dibangun dan dioperasikan, jaringan anyaman mampu menangani perubahan beban dengan lebih baik dan memberikan respons cepat terhadap fluktuasi permintaan listrik, menjadikannya ideal untuk area dengan kebutuhan daya yang tinggi dan dinamis [18].



Gambar 2. 5 Struktur Jaringan Anyaman

2.4 Recloser

Recloser (Penutup Balik Otomatis / PBO) merupakan salah satu peralatan pengaman atau proteksi yang dapat mendeteksi arus lebih karena hubung singkat antara fasa dengan fasa atau fasa dengan tanah, dimana recloser ini memutus arus dan menutup kembali secara otomatis dengan selang waktu yang dapat diatur misal dengan

pengaturan interval reclose 1 sampai 5 detik dan setting interval reclose 2 sampai 10 detik dan pada trip ketiga recloser akan membuka tetap dengan sendirinya karena gangguan itu bersifat permanen.

Recloser ini dipasang pada saat jaringan distribusi listrik yang panjang nya (>20 km) hingga perlu dipasang 2 atau lebih recloser / PBO. Selain berfungsi sebagai alat pengaman gangguan terhadap arus lebih, recloser berfungsi memisahkan daerah atau jaringan yang terganggu sistemnya secara cepat sehingga dapat memperkecil daerah yang terganggu pada saat terjadi gangguan. Pemakaian recloser lebih banyak digunakan pada saluran udara tegangan menengah (SUTM) yang menggunakan bentuk jaringan radial [13].

Recloser bekerja dengan prinsip deteksi dan penanganan gangguan otomatis dalam sistem distribusi listrik. Ketika terjadi gangguan, seperti hubungan pendek atau arus lebih, recloser mendeteksi anomali melalui sensor dan memutuskan arus untuk mengisolasi bagian yang terkena gangguan. Setelah memutuskan arus, recloser mencoba untuk menutup kembali sirkuit setelah periode waktu tertentu. Jika gangguan bersifat sementara, recloser akan berhasil mengalirkan kembali listrik tanpa masalah. Namun, jika gangguan tetap ada, recloser akan memutuskan arus lagi dan melakukan beberapa percobaan penutupan kembali sesuai pengaturan yang ditetapkan. Setelah beberapa kali percobaan, recloser akan memutuskan sirkuit secara permanen atau mengalihkan ke sirkuit cadangan jika diperlukan



Gambar 2. 6 Recloser

2.4.1 Bushing

Bushing adalah komponen isolasi yang digunakan dalam peralatan listrik, termasuk recloser, untuk memungkinkan aliran arus listrik melalui dinding atau casing perangkat tanpa bersentuhan langsung dengan bagian luar. Bushing berfungsi sebagai penghubung antara bagian konduktif di dalam perangkat dan sistem kabel eksternal, sementara tetap menjaga pemisahan isolasi yang aman untuk mencegah gangguan atau kerusakan.



Gambar 2. 7 Bushing

Beberapa fungsi utama bushing adalah:

1. Isolasi: Bushing menyediakan isolasi antara konduktor listrik yang berada di dalam perangkat dan bagian luar perangkat, seperti casing atau struktur yang mungkin bersentuhan dengan lingkungan eksternal. Ini membantu mencegah terjadinya korsleting dan kebocoran arus listrik.
2. Pemasangan Kabel: Bushing memungkinkan pemasangan kabel atau konduktor ke dalam perangkat tanpa merusak isolasi perangkat atau menyebabkan potensi bahaya. Kabel listrik dapat dimasukkan melalui bushing ke dalam perangkat dengan aman.
3. Perlindungan: Bushing melindungi konduktor listrik dari kerusakan fisik dan dari paparan langsung terhadap elemen luar yang dapat menyebabkan korosi atau keausan.
4. Pemisahan Tegangan: Bushing mengelola dan menjaga jarak antara komponen listrik yang berada pada potensi berbeda, sehingga mengurangi risiko terjadinya kegagalan isolasi akibat tegangan yang tinggi.

2.4.2 Manual Trip

Manual trip adalah fitur pada recloser atau pemutus sirkuit yang memungkinkan operator untuk memutuskan aliran listrik secara manual, terlepas dari mekanisme otomatis yang biasanya mengatur pemutusan. Fitur ini sangat berguna untuk pemeliharaan, perbaikan, atau dalam keadaan darurat.

Dengan manual trip, operator dapat menggunakan kontrol manual seperti tombol atau tuas pada panel kontrol untuk memutuskan sirkuit dengan cepat, memberikan kontrol langsung atas pemutusan listrik tanpa menunggu recloser melakukan pemutusan otomatis. Ini penting untuk situasi di mana pemutusan segera diperlukan, seperti dalam perbaikan atau untuk menghindari bahaya saat terjadi kerusakan besar. Manual trip juga berfungsi sebagai bypass sistem otomatis, memungkinkan intervensi manusia dalam kasus sistem otomatis tidak berfungsi atau

membutuhkan kalibrasi ulang. Dengan demikian, manual trip menambah fleksibilitas dan keamanan dalam pengelolaan sistem distribusi listrik.



Gambar 2. 8 Manual Trip

2.4.3 Surge Arrester

Arrester pada recloser, atau surge arrester adalah komponen penting yang dirancang untuk melindungi dan menahan lonjakan arus, seperti namanya, adalah perangkat yang melindungi peralatan listrik lainnya dengan "menahan" atau melepaskan arus lonjakan arus yang disebabkan oleh gaya eksternal (misalnya petir) atau internal (peristiwa peralihan). Alat ini juga disebut perangkat proteksi lonjakan arus (akronim: SPD), atau yang lebih umum, penekan lonjakan tegangan (TVSS).



Gambar 2. 9 Surge Arrester

2.4.4 Ground Stud

Ground stud adalah komponen pada recloser yang digunakan untuk menghubungkan perangkat ke sistem pembumian atau grounding. Fungsinya adalah untuk menyediakan jalur yang aman bagi arus listrik untuk mengalir ke tanah jika terjadi gangguan, sehingga meningkatkan keselamatan dan keandalan sistem listrik.



Gambar 2. 10 Ground Stud

Berikut adalah penjelasan lebih lanjut tentang ground stud:

1. Fungsi Pembumian

Ground stud berfungsi sebagai titik sambungan untuk sistem pembumian. Jika terjadi gangguan atau kegagalan isolasi yang menyebabkan arus bocor atau tegangan tinggi, ground stud memastikan bahwa arus berlebih tersebut dapat dialihkan ke tanah dengan aman. Ini mencegah potensi bahaya seperti kebakaran atau sengatan listrik.

2. Keamanan Sistem

Dengan menghubungkan recloser ke sistem pembumian, ground stud membantu melindungi peralatan dan orang-orang dari risiko yang terkait dengan arus bocor atau tegangan tinggi. Pembumian yang baik mengurangi risiko kejadian listrik berbahaya dan memastikan operasi yang aman dari peralatan.

3. Pemasangan

Ground stud biasanya terletak pada casing recloser atau di bagian yang mudah diakses untuk menghubungkan kabel grounding. Kabel ini terhubung ke sistem pembumian yang lebih besar, yang mencakup grounding sistem distribusi dan peralatan lainnya.

4. Pemeliharaan

Penting untuk memastikan bahwa ground stud dan sambungannya tetap bersih, kencang, dan bebas dari korosi. Pemeliharaan rutin diperlukan untuk memastikan bahwa sambungan grounding tetap efektif dan dapat mengalihkan arus berlebih dengan benar.

5. Regulasi dan Standar

Ground stud dan sistem pembumian harus mematuhi standar dan regulasi keselamatan yang berlaku untuk memastikan bahwa sistem pembumian berfungsi dengan baik dan memenuhi persyaratan keselamatan yang ditetapkan.

2.4.5 Peredam (Damping Device)

Peredam (Damping Device) adalah komponen pada recloser yang dirancang untuk mengurangi atau menghilangkan getaran mekanis dan osilasi yang mungkin terjadi selama operasi pemutus arus. Peredam ini berfungsi dengan menyerap energi dari getaran yang dihasilkan saat pemutus arus membuka atau menutup, menjaga stabilitas dan kinerja recloser. Dengan mengurangi getaran, peredam membantu mencegah kerusakan mekanis pada komponen internal recloser dan memastikan operasi yang lebih halus dan andal. Peredam dapat berupa berbagai jenis mekanisme, seperti peredam viskoelastik atau hidrolik, yang dipilih sesuai dengan tipe getaran yang perlu dikendalikan. Pemasangan dan pemeliharaan peredam secara rutin penting untuk menjaga efektivitasnya, sehingga recloser dapat berfungsi dengan optimal dan memiliki umur layanan yang lebih panjang.

2.5 Keandalan Sistem Tenaga Listrik

Keandalan sistem tenaga listrik merujuk pada kemampuan sistem tersebut untuk menyediakan pasokan listrik yang kontinu dan berkualitas sesuai dengan kebutuhan pengguna. Keandalan ini mencakup aspek kontinuitas pasokan, di mana sistem harus mampu menghindari gangguan atau pemadaman listrik sehingga pasokan tetap stabil meskipun terjadi gangguan atau kerusakan pada komponen tertentu. Selain itu, keandalan sistem juga melibatkan kemampuan untuk menyediakan listrik dengan karakteristik tegangan, frekuensi, dan bentuk gelombang yang sesuai dengan standar, guna menghindari kerusakan atau gangguan pada peralatan pengguna.

Keandalan sistem distribusi merupakan tingkat keberhasilan kinerja sebuah sistem atau bagian dari sebuah sistem, untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada waktu dan kondisi tertentu. Untuk dapat menentukan tingkat keandalan dari sebuah sistem, perlu dilakukan kajian berupa perhitungan dan analisa terhadap tingkat keberhasilan pada sistem yang ditinjau pada periode tertentu, untuk kemudian dibandingkan dengan standar yang sudah ditetapkan sebelumnya. Keandalan tenaga listrik adalah menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik kepada pelanggan (terutama pelanggan daya besar) [8].

Apabila kontinuitas penyaluran energi listrik tersebut terputus atau terganggu, maka akan mengakibatkan kerugian di sisi pelanggan. Jaringan tegangan menengah mempunyai peranan yang sangat vital dalam menentukan tingkat keandalan penyaluran energi listrik. Karena jaringan yang baik dapat melokalisasi gangguan yang terjadi dan segera mungkin dapat melakukan perpindahan penyaluran energi melalui jaringan lainnya. Kontinuitas pelayanan merupakan salah satu unsur dari kualitas pelayanan, dan kesemuanya tergantung pada jenis dan tipe penyalur dan peralatan pengaman yang digunakan. Jaringan distribusi sebagai saran penyalur energi listrik mempunyai tingkat kontinuitas pelayanan berdasarkan jangka waktu mengoperasikan kembali saluran setelah mengalami gangguan. Tingkatan-tingkatan tersebut antara lain:

Tingkat 1: Dimungkinkan berjam-jam; yaitu waktu yang diperlukan untuk mencari dan memperbaiki bagian yang rusak karena gangguan.

Tingkat 2: Padam beberapa jam; yaitu waktu yang diperlukan untuk mengirim petugas ke lokasi gangguan, melokalisasi dan melakukan manipulasi untuk menghidupkan sementara kembali dari arah atau saluran yang lain.

Tingkat 3: Padam beberapa menit; manipulasi oleh petugas yang jaga di gardu atau dilakukan deteksi atau pengukuran dan pelaksanaan manipulasi jarak jauh.

Tingkat 4: Padam beberapa detik; pengamanan atau manipulasi secara otomatis.

Tingkat 5: Tanpa padam; dilengkapi instalasi cadangan terpisah dan otomatis penuh.

Tingkat keandalan suatu sistem distribusi ini dapat dihitung berdasarkan parameter keandalannya, yang sesuai dengan kondisi saat terjadi gangguan pada jaringan distribusi.

2.6 SAIFI

SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) adalah salah satu dari beberapa indeks yang digunakan untuk mengukur dan mengevaluasi keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Indeks ini memberikan gambaran tentang frekuensi rata-rata gangguan atau pemadaman listrik yang dialami oleh pelanggan dalam periode waktu tertentu, biasanya satu tahun. Dengan kata lain, SAIFI mengukur seberapa sering rata-rata pelanggan mengalami gangguan listrik dalam satu tahun [14].

Penghitungan SAIFI didasarkan pada jumlah total gangguan yang terjadi selama periode waktu tertentu, dibagi dengan jumlah total pelanggan yang dilayani oleh sistem tenaga listrik tersebut. Rumusnya adalah:

$$f = \sum_{i=1}^n C_i \cdot X_i \cdot \lambda_i \quad (2.1)$$

Dimana:

f = SAIFI

C_i = Jumlah konsumen per unit yang mengalami pemadaman

X_i = Panjang penyulang atau unit komponen

λ_i = Angka keluar komponen yang menyebabkan pemadaman

n = Banyaknya komponen yang keluar yang menyebabkan pemadaman

Adapun beberapa hal penting SAIFI, antara lain:

1. Evaluasi Keandalan

SAIFI membantu perusahaan listrik dalam mengevaluasi keandalan sistem distribusi mereka. Dengan mengetahui frekuensi rata-rata gangguan, perusahaan dapat menentukan area atau bagian sistem yang memerlukan perbaikan atau peningkatan.

2. Perencanaan Pemeliharaan

Indeks ini membantu dalam merencanakan kegiatan pemeliharaan dan investasi infrastruktur. Bagian sistem dengan nilai SAIFI tinggi mungkin memerlukan lebih banyak perhatian untuk mengurangi frekuensi gangguan.

3. Penilaian Kinerja

SAIFI juga digunakan oleh regulator dan pembuat kebijakan untuk menilai kinerja perusahaan listrik. Perusahaan dengan nilai SAIFI rendah biasanya dianggap memiliki kinerja yang baik dalam hal keandalan pasokan listrik.

4. Pengalaman Pelanggan

Dari perspektif pelanggan, nilai SAIFI yang rendah berarti mereka mengalami lebih sedikit gangguan listrik, yang meningkatkan kepuasan pelanggan dan kepercayaan terhadap penyedia layanan listrik.

Adapun tindakan untuk mengurangi SAIFI, antara lain:

1. Pemeliharaan Preventif

Melakukan pemeliharaan rutin dan preventif pada jaringan distribusi listrik untuk mengidentifikasi dan memperbaiki potensi masalah sebelum menyebabkan gangguan.

2. Penggantian Komponen Usang

Mengganti komponen jaringan yang sudah tua atau rentan terhadap kerusakan.

3. Implementasi Teknologi Canggih

Menggunakan teknologi canggih seperti sistem deteksi gangguan otomatis dan pemulihan otomatis untuk mengurangi durasi dan frekuensi gangguan.

4. Perencanaan Infrastruktur yang Baik

Merencanakan dan membangun infrastruktur jaringan yang lebih kuat dan tahan terhadap gangguan.

2.7 SAIDI

SAIDI (System Average Interruption Duration Index) adalah indikator penting dalam pengukuran keandalan sistem tenaga listrik. Indeks ini mengukur durasi rata-rata gangguan listrik yang dialami oleh pelanggan dalam suatu periode waktu tertentu, biasanya satu tahun. SAIDI memberikan wawasan tentang total waktu rata-rata pelanggan kehilangan pasokan listrik selama satu tahun [15].

SAIDI dihitung dengan membagi total durasi gangguan (dalam menit atau jam) yang dialami oleh semua pelanggan dengan jumlah total pelanggan yang dilayani oleh sistem tenaga listrik tersebut. Rumusnya adalah:

$$d = \sum_{i=1}^n Xi \cdot \lambda i \left(\sum_{j=1}^m Cij \cdot tij \right) \quad (2.2)$$

Dimana:

d = SAIDI

λi = Angka keluar komponen yang menyebabkan pemadaman

Xi = Panjang penyulang atau unit komponen

n = Banyaknya komponen yang keluar yang menyebabkan pemadaman

m = Jumlah dari fungsi kerja yang terlibat dalam pemulihan pelayanan

Cij = Jumlah konsumen per unit yang mengalami pemadaman selama langkah demi langkah dari operasi kerja (j = Indeks dari operasi kerja)

Adapun beberapa hal penting SAIDI, antara lain:

1. Evaluasi Durasi Gangguan

SAIDI membantu perusahaan listrik dalam mengevaluasi durasi gangguan listrik yang dialami oleh pelanggan. Dengan mengetahui durasi rata-rata gangguan, perusahaan dapat menentukan area atau bagian sistem yang memerlukan perbaikan untuk mengurangi durasi pemadaman.

2. Perencanaan Pemeliharaan

Indeks ini membantu dalam merencanakan kegiatan pemeliharaan dan investasi infrastruktur. Bagian sistem dengan nilai SAIDI tinggi mungkin memerlukan lebih banyak perhatian untuk mengurangi durasi gangguan.

3. Penilaian Kinerja

SAIDI juga digunakan oleh regulator dan pembuat kebijakan untuk menilai kinerja perusahaan listrik. Perusahaan dengan nilai SAIDI rendah biasanya dianggap memiliki kinerja yang baik dalam hal keandalan dan durasi pasokan listrik.

4. Pengalaman Pelanggan

Dari perspektif pelanggan, nilai SAIDI yang rendah berarti mereka mengalami gangguan listrik dengan durasi yang lebih singkat, yang meningkatkan kepuasan pelanggan dan kepercayaan terhadap penyedia layanan listrik.

Tindakan untuk Mengurangi SAIDI:

1. Pemeliharaan Preventif

Melakukan pemeliharaan rutin dan preventif pada jaringan distribusi listrik untuk mengidentifikasi dan memperbaiki potensi masalah sebelum menyebabkan gangguan yang berkepanjangan.

2. Penggantian Komponen Usang

Mengganti komponen jaringan yang sudah tua atau rentan terhadap kerusakan yang dapat menyebabkan gangguan berulang dan berkepanjangan.

3. Implementasi Teknologi Canggih

Menggunakan teknologi canggih seperti sistem deteksi gangguan otomatis dan pemulihan otomatis untuk mengurangi durasi gangguan.

4. Perencanaan Infrastruktur yang Baik

Merencanakan dan membangun infrastruktur jaringan yang lebih kuat dan tahan terhadap gangguan untuk meminimalkan durasi pemadaman.

Dengan memahami dan mengelola SAIDI, perusahaan listrik dapat meningkatkan keandalan sistem mereka, mengurangi durasi gangguan listrik, dan meningkatkan kepuasan pelanggan. Indeks ini menjadi alat yang penting untuk memastikan pasokan listrik yang stabil dan berkelanjutan, yang esensial bagi kelangsungan hidup masyarakat modern dan aktivitas industri.

2.8 Algoritma *Particle swarm optimization* (PSO)

Particle swarm optimization (PSO) merupakan algoritma evolusi yang mirip dengan algoritme genetika dengan memanfaatkan fungsi fitness yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas suatu solusi permasalahan. Dalam PSO setiap solusi ada dalam ruang pencarian dipandang sebagai sebagai partikel yang mana setiap partikel memiliki nilai fitness untuk dioptimalkan, dan memiliki kecepatan untuk perpindahan partikel. PSO memiliki beberapa kelebihan yaitu sedikit parameter, mudah diterapkan, konvergensi yang cepat, dan sederhana sehingga PSO banyak diterapkan pada optimasi fungsi, optimasi metode konvensional dan klasifikasi pola. Kata partikel menunjukkan misalnya seekor burung dalam kawanan burung. Setiap individu atau partikel berperilaku dengan menggunakan kecerdasannya(intelligence) sendiri dan juga dipengaruhi perilaku kelompok kolektifnya. Dengan demikian, jika suatu partikel atau seekor burung menemukan jalan yang tepat atau pendek maka sisa kelompok yang lain juga akan segera mengikuti jalan tersebut meskipun lokasi mereka jauh dari kelompok tersebut.

Dalam PSO sebuah partikel sama dengan sebuah individu. Sederhananya, partikel-partikel terbang melalui sebuah ruang pencarian multi dimensi dimana posisi

dari setiap partikel diubah menurut pengalaman mereka sendiri dan tetangga mereka. Jika $X_i(t)$ merupakan posisi partikel dalam ruang pencarian di waktu t , maka posisi partikel berubah dengan menambah kecepatan $V_i(t)$ kedalam posisi saat ini dengan cara:

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t+1)$$

Menurut Bai(2010) keuntungan dari algoritma particle swarm optimization adalah sebagai berikut :

1. PSO berdasar pada kecerdasan (intelligence). Ini dapat diterapkan ke dalam kedua penggunaan dalam bidang teknik dan riset ilmiah.
2. PSO tidak punya overlap dan kalkulasi mutasi. Pencarian dapat dilakukan oleh kecepatan dari partikel. Selama pengembangan beberapa generasi, kebanyakan hanya partikel yang optimis yang dapat mengirim informasi kepartikel yang lain, dan kecepatan dari pencarian adalah sangat cepat.
3. Perhitungan didalam Algoritma PSO sangat sederhana, menggunakan kemampuan optimisasi yang lebih besar dan dapat diselesaikan dengan mudah.
4. PSO memakai kode/jumlah yang riil, dan itu diputuskan langsung dengan solusi, dan jumlah dimensi tetap sama dengan solusi yang ada.

Sedangkan kekurangan dari algoritma particle swarm optimization adalah sebagai berikut :

1. Metode mudah mendapatkan optimal parsial (sebagian), yang mana menyebabkan semakin sedikit ketepatannya untuk peraturan tentang arah dan kecepatan.
2. Metode tidak bisa berkembang dari permasalahan sistem yang tidak terkoordinir, seperti solusi dalam bidang energi dan peraturan yang tidak menentu didalam bidang energy.

Untuk global best PSO, tetangga setiap partikel adalah seluruh swarm. Jaringan sosial yang digunakan oleh global best PSO menggambarkan topologi bintang. Untuk topologi tetangga bintang, komponen sosial dari pembaruan kecepatan partikel menggambarkan informasi yang diperoleh dari seluruh partikel dalam swarm [14].

Dalam kasus ini, informasi sosial merupakan posisi terbaik yang ditemukan swarm yang di anotaskan sebagai $gb(t)$. Untuk global best PSO, kecepatan partikel i dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$V_i(t+1) = V_{ij}(t) + c_1 r_1 j(t) [y_{ij}(t) - X_{ij}(t)] + c_2 r_2 j(t) [gb(t) - X_{ij}(t)]$$

Dimana $V_{ij}(t)$ merupakan kecepatan partikel i pada dimensi $J = 1 \dots n$ dalam waktu ke t , X_{ij} merupakan posisi partikel i dalam dimensi J dalam waktu ke t , c_1 dan c_2 merupakan konstanta akselerasi yang digunakan untuk memberi skala kontribusi komponen kognitif dan sosial, dan r_1 dan r_2 merupakan nilai acak dengan range $[0,1]$. Posisi terbaik individu (y_i) berhubungan dengan partikel i , merupakan posisi terbaik partikel yang telah dikunjungi sejak waktu pertama. Dengan memperhitungkan masalah maksimasi, posisi terbaik individu dalam waktu selanjutnya, $t+1$ adalah

$$Y_i(t+1) = \{ y_i(t) \text{ jika } f(x_i(t+1)) \geq f(y_i(t)) \quad X_i(t) \text{ jika } f(x_i(t+1)) < f(y_i(t))$$

Dimana $F: R^n \times R$ merupakan fungsi objektif yang dipetakan dalam bilangan real. Seperti pada algoritma evolusi, fungsi objektif mengukur seberapa dekat solusi dengan solusi optimum. Contohnya fungsi objektif mengukur performansi atau kualitas partikel.

Menurut Chen & Shih (2013) untuk memulai algoritma PSO, kecepatan awal (velocity) dan posisi awal (position) ditentukan secara random. Kemudian proses pengembangannya sebagai berikut:

1. Asumsikan bahwa ukuran kelompok atau kawanan (jumlah partikel) adalah N . Kecepatan dan posisi awal pada tiap partikel dalam N dimensi ditentukan secara random (acak)
2. Hitung kecepatan dari semua partikel. Semua partikel bergerak menuju titik optimal dengan suatu kecepatan. Awalnya semua kecepatan dari partikel diasumsikan sama dengan nol, set iterasi $i = 1$.
3. Nilai fitness setiap partikel ditaksir menurut fungsi sasaran (objective function) yang ditetapkan. Jika nilai fitness setiap partikel pada lokasi saat ini lebih baik dari P_{best} , maka P_{best} diatur untuk posisi saat ini

4. Nilai fitness partikel dibandingkan dengan Gbest. Jika Gbest yang terbaik maka Gbest yang diupdate.
5. Persamaan (2.5) dan (2.6) ditunjukkan di untuk memperbaharui (update) kecepatan (velocity) dan posisi (position) setiap partikel.
6. Cek apakah solusi yang sekarang sudah konvergen. Jika posisi semua partikel menuju ke satu nilai yang sama, maka ini disebut konvergen. Jika belum konvergen maka langkah 2 diulang dengan memperbarui iterasi $i = i + 1$, dengan cara menghitung nilai baru dari Pbest,j dan Gbest. Proses iterasi ini dilanjutkan sampai semua partikel menuju ke satu titik solusi yang sama. Biasanya akan ditentukan dengan kriteria penghentian (stopping criteria), misalnya jumlah selisih solusi sekarang dengan solusi sebelumnya sudah sangat kecil.

2.9 ETAP

ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) adalah sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk analisis, simulasi, dan pengelolaan sistem tenaga listrik. Dikembangkan oleh ETAP Automation Inc., ETAP menawarkan berbagai fitur untuk membantu insinyur listrik dan profesional dalam merancang, menganalisis, mengoptimalkan, dan mengotomatisasi sistem tenaga Listrik [16].



Gambar 2. 11 ETAP

Fitur Utama ETAP:

1. Analisis Aliran Daya

Memungkinkan pengguna untuk menghitung distribusi tegangan, arus, dan daya dalam jaringan tenaga listrik. Ini membantu dalam memastikan bahwa sistem bekerja dengan efisien dan sesuai dengan batasan operasional.

2. Studi Gangguan

Menganalisis respons sistem terhadap gangguan seperti hubung singkat (short circuit) dan gangguan tanah (ground fault). Ini penting untuk desain proteksi dan keandalan sistem.

3. Analisis Stabilitas

Menilai stabilitas dinamis sistem tenaga listrik untuk memastikan operasi yang stabil selama kondisi transien atau gangguan.

4. Studi Koordinasi Proteksi

Membantu dalam merancang dan mengevaluasi sistem proteksi untuk memastikan bahwa perangkat proteksi beroperasi dengan benar dan terkoordinasi.

5. Analisis Harmonik

Mendeteksi dan menganalisis harmonik dalam sistem tenaga listrik yang dapat menyebabkan distorsi tegangan dan arus, serta masalah operasional pada peralatan.

6. Simulasi Transien

Memodelkan respons sistem terhadap kejadian transien seperti lonjakan tegangan, pemutusan beban, atau gangguan.

7. Optimasi Sistem

Menyediakan alat untuk mengoptimalkan desain dan operasi sistem tenaga listrik, termasuk optimasi ekonomi dan teknis.

8. Analisis Keandalan

Membantu dalam menilai dan meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik dengan menganalisis kegagalan komponen dan dampaknya terhadap sistem secara keseluruhan.

Manfaat ETAP:

1. Peningkatan Efisiensi

Dengan menggunakan ETAP, insinyur dapat mengidentifikasi cara untuk meningkatkan efisiensi operasional sistem tenaga listrik.

2. Keandalan yang Lebih Baik

ETAP membantu dalam merancang sistem yang lebih andal dengan menganalisis potensi masalah dan mengembangkan solusi untuk mengatasinya.

3. Penghematan Biaya

Dengan optimasi dan analisis yang komprehensif, ETAP membantu mengurangi biaya operasional dan investasi dalam sistem tenaga listrik.

4. Keamanan yang Ditingkatkan

Melalui studi koordinasi proteksi dan analisis gangguan, ETAP membantu memastikan bahwa sistem proteksi berfungsi dengan benar, meningkatkan keselamatan sistem dan personel.

5. Pengambilan Keputusan yang Lebih Baik

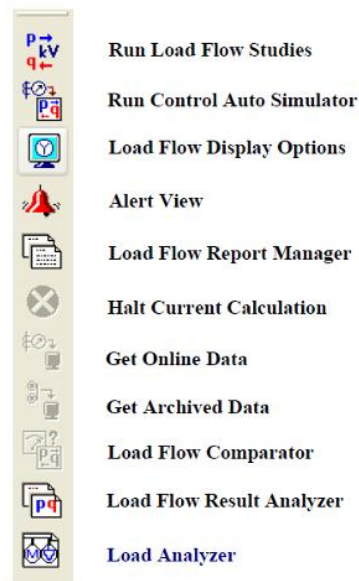
Data dan analisis yang disediakan oleh ETAP membantu insinyur dan manajer dalam membuat keputusan yang lebih baik dan berbasis data untuk perencanaan dan operasional sistem tenaga listrik.

Aplikasi ETAP:

ETAP digunakan dalam berbagai aplikasi di industri tenaga listrik, termasuk:

- Perusahaan Listrik: Untuk perencanaan, operasi, dan pemeliharaan jaringan distribusi dan transmisi.
- Pabrik Industri: Untuk memastikan pasokan listrik yang andal dan efisien bagi proses produksi.
- Desain Sistem Listrik: Untuk merancang sistem kelistrikan yang efisien dan andal dalam berbagai proyek konstruksi dan infrastruktur.
- Akademis dan Riset: Sebagai alat bantu untuk penelitian dan pendidikan dalam bidang sistem tenaga listrik.

Load flow analysis atau yang lebih umum dikenal dengan nama analisis aliran daya merupakan salah satu analisa yang dapat dilakukan dengan menggunakan software ETAP 7.0. Pada buku modul panduan ETAP, analisis aliran daya bertujuan untuk menghitung tegangan bus, faktor daya percabangan, arus, dan aliran daya yang melewati sepanjang sistem kelistrikan tersebut. Pada ETAP juga menyediakan icon swing (ayunan), voltage regulated (pengaturan tegangan), dan unregulated power sources (sumber tenaga yang tidak diatur) dengan banyak jaringan tenaga dan juga generation connections.¹⁰ Dengan adanya icon tersebut mampu menampilkan analisis dari kedua sistem jaringan, baik sistem radial dan juga sistem loop. Pada ETAP versi 7.0 ini juga memberikan pengguna untuk memilih beberapa metode yang berbeda untuk mencapai perhitungan efisiensi yang terbaik [17].



Gambar 2.3 Tampilan Toolbar Load Flow pada Software ETAP 7.0

Pada bagian toolbar load flow menjelaskan pengguna dapat memproses load flow calculation, membuka dan melihat output report, atau memilih tampilan display option. Pada bagian load flow study case editor menjelaskan bagaimana pengguna dapat membuat sebuah studi kasus baru, apa parameter yang diperlukan untuk menetapkan

sebuah studi kasus baru tersebut, dan bagaimana cara mengaturnya. Pada bagian tampilan display option menjelaskan pilihan apa yang tersedia untuk menampilkan beberapa kunci parameter sistem dalam hasil keluaran pada one-line diagram, dan bagaimana cara mengaturnya. Pada bagian load flow calculation methods menunjukkan formula/rumus yang berbeda dengan perhitungan. Perbandingan antara dasar konvergensi, meningkatkan konvergensi berdasarkan perbedaan sistem parameter dan konfigurasi, dan beberapa tips untuk memilih ketepatan metode perhitungan juga dapat dilitemukan pada bagian ini.

ETAP memiliki 2 macam standar yang digunakan untuk melakukan analisa kelistrikan, ANSI dan IEC. Pada dasarnya perbedaan yang terjadi di antara kedua standar tersebut adalah frekuensi yang digunakan, yang berakibat pada perbedaan spesifikasi peralatan yang sesuai dengan frekuensi tersebut. Simbol elemen listrik yang digunakan dalam analisa dengan menggunakan ETAP pun berbeda.



Gambar 2.4 Tampilan Elemen Standar ANSI

Beberapa elemen standar yang akan digunakan pada suatu diagram saluran tunggal untuk analisis aliran daya diantaranya adalah : generator, transformator, pemutus rangkaian, dan beban.

A. Power Grid

Merupakan sumber tegangan yang berfungsi untuk menghasilkan tenaga listrik.



Gambar 2.5 Power Grid pada ETAP

B. Transformator

Berfungsi untuk menaikkan maupun menurunkan tegangan dengan rasio tertentu sesuai dengan kebutuhan sistem tenaga listrik.



Gambar 2.6 Trafo Pada ETAP

C. Pemutus Rangkaian

Merupakan sebuah saklar otomatis yang dirancang untuk melindungi sebuah rangkaian listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh kelebihan beban atau hubungan pendek.



Gambar 2.7 Pemutus pada ETAP

D. Beban

Di ETAP terdapat dua macam beban, yaitu beban statis dan beban dinamis.



Gambar 2.8 Load Standar Pada ETAP

2.10 Matlab

2.10.1 Pengertian Matlab

MATLAB (Matrix Laboratory) adalah suatu program untuk analisis dan komputasi numerik dan merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks. Pada awalnya, program ini merupakan interface untuk koleksi rutin-rutin numeric dari proyek LINPACK dan EISPACK, dan dikembangkan menggunakan bahasa FORTRAN namun sekarang merupakan produk komersial dari perusahaan Mathworks, yang dalam perkembangan selanjutnya dikembangkan menggunakan bahasa C++ dan assembler (utamanya untuk fungsi-fungsi dasar MATLAB). (Indri Handani, 2020)

MATLAB telah berkembang menjadi sebuah environment pemrograman yang canggih yang berisi fungsi-fungsi built-in untuk melakukan tugas pengolahan sinyal, aljabar linier, dan kalkulasi matematis lainnya. MATLAB juga berisi toolbox yang berisi fungsifungsi tambahan untuk aplikasi khusus. MATLAB bersifat extensible dalam arti bahwa seorang pengguna dapat menulis fungsi baru untuk ditambahkan pada library ketika fungsi-fungsi built-in yang tersedia tidak dapat melakukan tugas tertentu. Kemampuan pemrograman yang dibutuhkan tidak terlalu sulit bila anda telah memiliki pengalaman dalam pemrograman bahasa lain seperti C++, PASCAL, atau FORTRAN. (Indri Handani, 2020)

MATLAB merupakan merk software yang dikembangkan oleh Mathworks merupakan software yang paling efisien untuk perhitungan numeric berbasis matriks. Dengan demikian jika di dalam perhitungan kita dapat menformulasikan masalah ke dalam format matriks maka MATLAB merupakan software terbaik untuk penyelesaian numericnya. MATLAB yang merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi berbasis pada matriks sering digunakan untuk teknik komputasi numerik, untuk menyelesaikan

masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matrik, optimasi, aproksimasi dan lain-lain. Sehingga Matlab banyak digunakan pada : (1) Matematika dan Komputansi, (2) Pengembangan dan Algoritma, (3) Pemrograman modeling, simulasi, dan pembuatan prototype, (4) Analisa Data, eksplorasi dan visualisasi, (5) Analisis numerik dan statistic, dan (6) Pengembangan aplikasi teknik. (Indri Handani, 2020)

Matlab merupakan sebuah singkatan dari Matrix Laboratory, yang pertama kali dikenalkan oleh University of New Mexico dan University of Stanford pada tahun 1970. software ini pertama kali memang digunakan untuk keperluan analisis numerik, aljabar linier dan teori tentang matriks. Saat ini, kemampuan dan fitur yang dimiliki oleh Matlab sudah jauh lebih lengkap dengan ditambahkannya toolbox toolbox yang sangat luar biasa. Beberapa manfaat yang didapatkan dari Matlab antara lain:

1. Perhitungan Matematika
2. Komputasi numerik
3. Simulasi dan pemodelan
4. Visualisasi dan analisis data
5. Pembuatan grafik untuk keperluan sains dan teknik
6. Pengembangan aplikasi, misalnya dengan memanfaatkan GUI.

Matlab dapat dipadang sebagai sebuah kalkulator dengan fitur yang lengkap. Kita pernah menggunakan kalkulator dengan dengan fasilitas minimal, misalnya hanya terdapat fasilitas penambahan, pengurangan perkalian dan pembagian. Kalkulator yang lebih lengkap lagi adalah kalkulator scientific dimana fasilitas yang diberikan tidak hanya yang disebutkan di atas, melainkan sudah ada fungsi-fungsi trigonometri, bilangan kompleks, akar kuadrat dan logaritma. Nah, Matlab mirip dengan kalkulator tersebut, tetapi dengan fitur-fitur yang lengkap diantaranya dapat digunakan untuk memprogram, aplikasi berbasis GUI dan lengkap dengan toolbox yang dapat dimanfaatkan untuk memecahkan masalah sains dan teknik. (Indri Handani, 2020)

Matlab memberikan kemudahan bagi para pengguna untuk Modul Pemrograman Komputer 1 menemukan bantuan sehubungan dengan semua fasilitas yang diberikan

oleh Matlab. Misalnya, bantuan tentang bagaimana memulai Matlab pertama kali, trik pemrograman, membuat grafik 2 dan 3 dimensi, menggunakan tool akuisisi data, pengolahan sinyal, penyelesaian persamaan diferensial parsial.

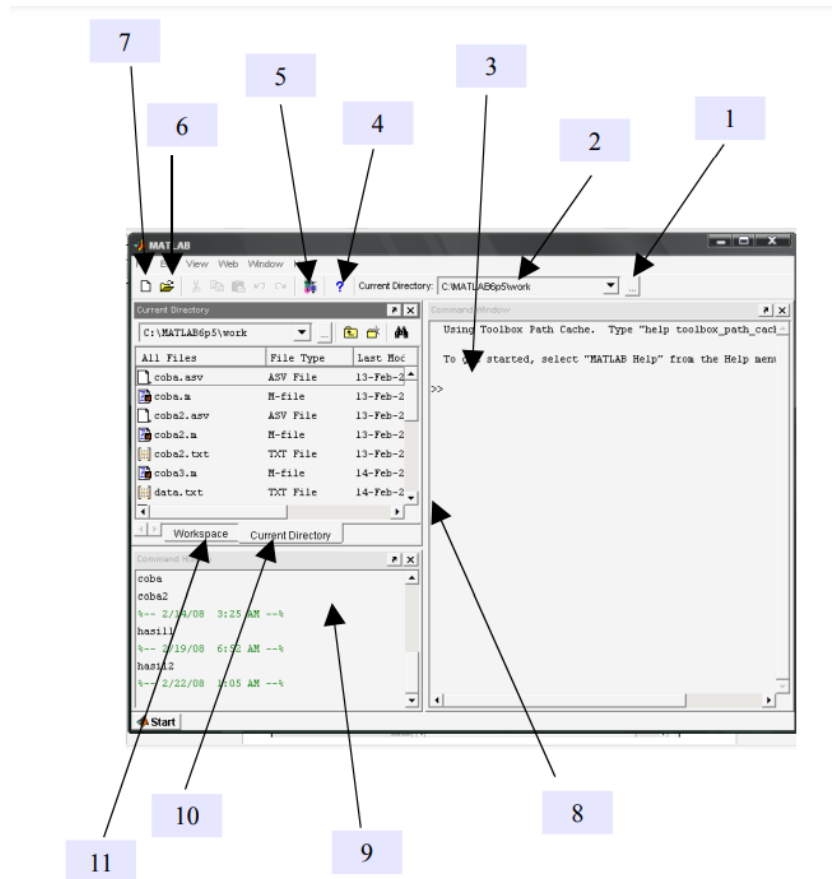
Untuk memperoleh bantuan tersebut, kita dapat memilih MATLAB Menu dari menu Help. Untuk bantuan tentang Matlab sendiri, dibagi atas beberapa bagian antara lain λ Development Environment, bagian ini akan memberikan informasi yang lengkap mengenai desktop dari Matlab. (Indri Handani, 2020)

- a. Mathematics, bagian yang menjelaskan bagaimana menggunakan fitur yang dimiliki oleh Matlab untuk dalam mengolah data matematis dan statistik. Isi dalam bantuan ini dicakup antara lain: Matrks dan aljabar linier, polinomial dan interpolasi, analisis data dan statistik, fungsi function, matriks jarang (sparse matrix).
- b. Programming and data type, bagian ini menjelaskan bagaimana membuat script dan fungsi dengan menggunakan Matlab. Bantuan ini mencakup pemrograman M-File, larik, larik multidimensi, optimalisasi performance Matlab, tip pemrograman Matlab.
- c. Graphics, bagian ini menjelaskan tentang bagaimana membuat atau mengeplot grafik dari data yang kita miliki. Yang termasuk dalam bagian ini antara lain, dasar-dasar pengeplotan, format grafik, membuat grafik khusus misalnya grafik dalam bentuk Modul Pemrograman Komputer 2 bar, histogram, contour dan lain-lain
- d. 3-D Visualization, bagian ini menjelaskan dengan tuntas bagaimana menampilkan data yang kita miliki dalam grafik 3 dimensi, termasuk didalamnya membuat grafik 3D, menentukan tampilan objek, transparansi objek, lighting dan lain-lain.
- e. Creating Graphical User Interfaces, bagian ini menjelaskan bagaimana kita dapat membuat GUI (Graphical User Interface) berbasis Matlab.

Disamping bagian-bagian yang sudah disebutkan di atas, disini juga disertakan beberapa bagian tambahan yang ikut melengkapi dokumentasi penjelasan tentang Matlab, diantaranya function-By cattegory, function-Alphabetical List, handle graphic

property browser, external interfaces/API, external interfaces/API references dan lain-lain. (Indri Handani, 2020)

Ketika kita pertama kali menjalankan Matlab, maka tampilan pertama yang kita temui ini dikenal sebagai Desktop Matlab. Dalam desktop ini terdapat tool-tool yang berfungsi untuk manajemen file, variabel dan aplikasi yang berkaitan dengan Matlab. Dibawah ini ditunjukkan desktop Matlab versi 6.5.



Gambar 2.11 Jendela Matlab
(Indri Handani, 2020)

Keterangan :

1. tool untuk browse direktori aktif. Dari tool ini kita dapat mengeset direktori mana yang aktif. Direktori aktif berarti bahwa Modul Pemrograman Komputer 4 8 9 10 11 1 2 3 4 5 6 7 direktori inilah yang siap untuk diakses

file didalamnya atau tempat yang siap untuk digunakan sebagai penyimpan data.

2. Tool yang menampilkan direktori aktif. Dari tool ini kita dapat melihat direktori mana yang aktif. Sebagai default direktori aktif Matlab adalah C:\MATLAB6p5\work, jika Matlab diinstal di direktori C:\ , kalau disimpan di D:\ maka direktori aktif defaultnya D:\MATLAB6p5\work, begitu juga di E:\ atau dimana saja.
3. Jendela ini disebut disebut sebagai Command Window. Dari jendela ini kita dapat memasukkan perintah Matlab. Disamping itu kita juga dapat menjalankan atau mengeksekusi program yang sudah kita buat di editor window dan disimpan di direktori aktif.
4. Tool yang digunakan untuk mendisplay bantuan pada Matlab.
5. Tool yang dapat digunakan untuk menuju ke Simulink Library Browser.
6. Tool untuk membuka file yang ada di direktori aktif.
7. Tool untuk membuat file baru dengan format M-File.
8. Tool untuk mengatur ukuran jendela.
9. Tool untuk melihat perintah apa saja yang pernah kita jalankan melalui command window. Tool ini diberi nama command history.
10. Tool untuk mendisplay isi file apa saja yang terdapat di direktori aktif.
11. Tool untuk mendisplay nama variabel, ukuran, bytes dan classnya.

2.10.2 Lingkungan Kerja Matlab

Ada beberapa macam window yang ada didalam aplikasi MATLAB, yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

a. Command Window

MATLAB Command window/editor merupakan window yang dibuka pertama kali setiap kali MATLAB dijalankan pada window di atas dapat dilakukan akses - akses ke command MATLAB dengan cara mengetikkan barisan barisan ekspresi MATLAB, seperti mengakses help window dan lain-lainnya. Jika perintah-perintah yang sudah diketikkan dan hasil yang

ditampilkan pada layar command window akan disimpan maka dapat dilakukan dengan menggunakan command diary. Command windows juga digunakan untuk memanggil tool Matlab seperti editor, debugger atau fungsi. Command Window adalah tempat untuk menjalankan fungsi, mendeklarasikan variable, menjalankan proses-proses , serta melihat isivariabel.

b. Current Directory

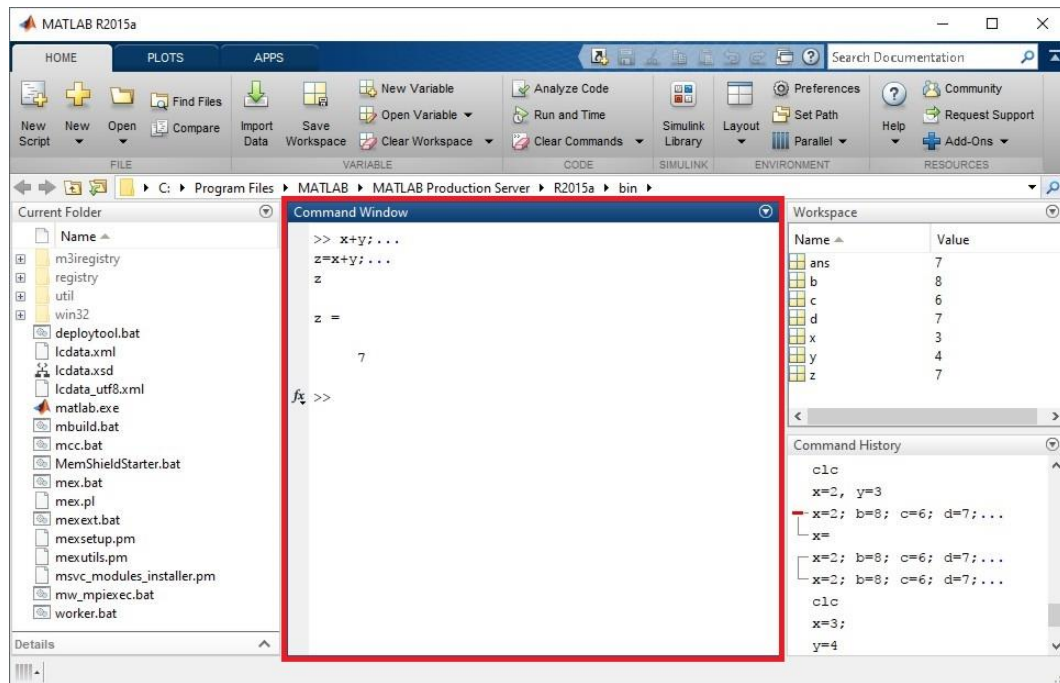
Window ini menampilkan isi dari direktori kerja saat menggunakan matlab. Kita dapat mengganti direktori ini sesuai dengan tempat direktori kerja yang diinginkan. Default dari alamat direktori berada dalam folder works tempatprogram files Matlab berada.

c. Command History

Window ini berfungsi untuk menyimpan perintahperintah apa saja yang sebelumnya dilakukan oleh pengguna terhadap matlab.

d. Workspace

Workspace berfungsi untuk menampilkan seluruh variabel-variabel yang sedang aktif pada saat pemakaian matlab. Apabila variabel berupa data matriks berukuran besar maka user dapat melihat isi dari seluruh data dengan melakukan double klik pada variabel tersebut. Matlab secara otomatis akan menampilkan window “arrayeditor” yang berisikan data pada setiap variabel yang dipilih user.



Gambar 2.9 Tampilan Matlab
(Indri Handani, 2020)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat

Dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dilakukan di Jaringan Distribusi 20 kV pada PT. PLN (Persero) Area Medan, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara.

3.1.2 Waktu

Waktu pelaksanaan tugas akhir ini berlangsung dimulai dari Juli 2024 sampai November 2024.

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian

NO	Uraian	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Kajian Literatur						
2	Penyusunan Proposal Penelitian						
3	Penulisan Bab 1 Samapai Bab 3						
4	Pengumpulan Data						
5	Analisa Data						
6	Seminar hasil						
7	Sidang Akhir						

3.2 Alat Dan Bahan

Pada penelitian ini alat dan bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Laptop
2. *Software* ETAP
3. Data dari PT. PLN (Persero) Area Medan

3.4 Prosedur Pengujian

Adapun prosedur pengujian dilakukan dari awal hingga akhir:

A. Persiapan dan Pengumpulan Data

- Pengumpulan data jaringan dengan rinci tentang jaringan distribusi 20 kV, termasuk konfigurasi jaringan, panjang saluran, jenis konduktor, dan impedansi saluran.
- Pengumpulan data beban dengan profil beban di setiap titik distribusi.
- Pengumpulan data gangguan dengan data historis tentang frekuensi, lokasi, dan durasi gangguan di jaringan distribusi.
- Pengumpulan data recloser dengan data teknis mengenai recloser, termasuk karakteristik operasional dan waktu pemutusan.

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan untuk memperoleh informasi yang diperlukan dalam penempatan recloser guna memaksimalkan kinerja sistem tenaga listrik di jaringan distribusi 20 kV pada PT. PLN (Persero) Area Medan.

Data yang akan diambil meliputi:

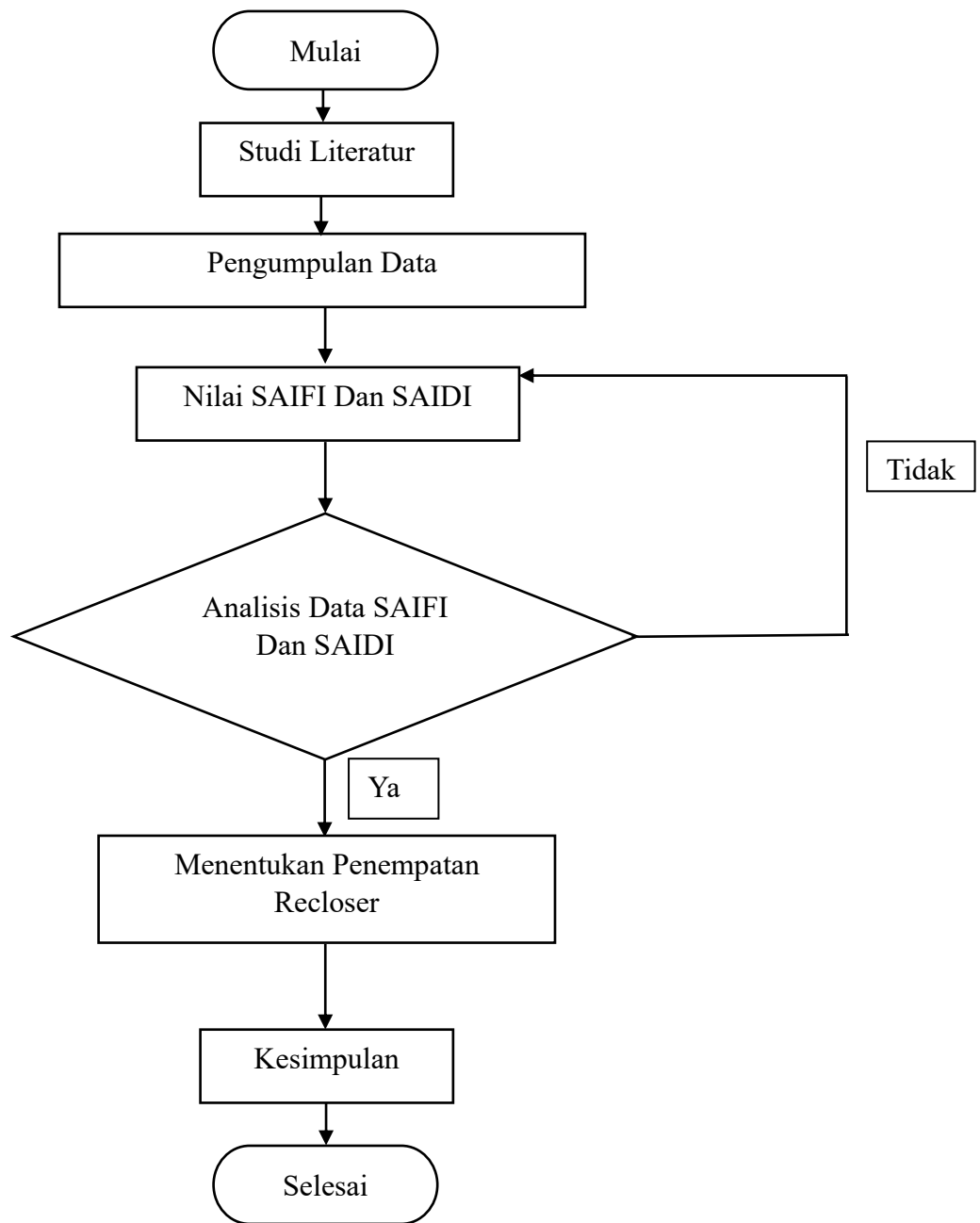
1. Data Jaringan Distribusi
2. Data Beban
3. Data Gangguan
5. Data Operasional

3.8 Metode Penelitian

Pada penelitian ini peneliti menggunakan metode kuantitatif dengan mengambil data lapangan dan disimulasi komputer menggunakan *software* ETAP dan dilakukan pada bulan Juli 2024 sampai November 2024 bertempat di Jaringan Distribusi 20 kV pada PT. PLN (Persero) Area Medan, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara, Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan dan diketahui peneliti dalam pelaksanaan tugas akhir ini yaitu sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan penelitian
2. Mengambil data motor pada jaringan distribusi
3. Melakukan input data menggunakan Software ETAP
4. Melakukan Perhitungan dan analisa data
5. Melakukan analisis dan evaluasi hasil data
6. Mengambil kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilaksanakan
7. Selesai, Berikut Diagram Alir Serta Proses Penelitian dapat dilihat pada gambar

3.1 Berikut



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas perhitungan nilai laju kegagalan dan waktu perbaikan kemudian menghitung SAIDI dan SAIFI node jaringan serta melakukan optimasi penempatan recloser dengan memanfaatkan algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) yang hasilnya merupakan letak recloser terbaik pada jaringan RDT14.

4.1. Pasokan Listrik Penyulang RDT14

4.1.1. Laju Kegagalan dan Unavailability Main Feeder RDT14

Jika melihat Single Line Diagram (SLD) topologi penyulang RDT14, maka dapat dilihat bahwa terdapat sebanyak 16 Load Point (LP) pada jalur utama atau node utama penyulang RDT14:

Tabel 4. 1: Load Point Penyulang RDT14

LP	No Tiang	Daya Trafo	FASA	Merk Trafo	Alamat
1	RDT14-015	100	3	Schneider	Jl. Eka Surya
2	RDT14-017	160	3	Trafo	Jl. Eka Surya
3	RDT14-027	200	3	Trafo	Jl. Eka Surya
4	RDT14-031	200	3	B&D	Jl. Sidodadi
5	RDT14-032	160	3	B&D	Jl. Sidodadi
6	RDT14-041	50	3	Trafo	Jl. Sidodadi
7	RDT14-053	50	3	Schneider	Jl. Merci Raya
8	RDT14-054	100	3	B&D	Jl. Karya Wisata
9	RDT14-058	200	3	Trafo	Jl. Karya Wisata
10	RDT14-060	160	3	Trafo	Jl. Karya Wisata
11	RDT14-061	160	3	Schneider	Jl. Tani Bersaudara
12	RDT14-069	100	3	Schneider	Jl. Tani Bersaudara
13	RDT14-076	100	3	Trafo	Jl. Padat Karya
14	RDT14-079	100	3	B&D	Jl. Padat Karya
15	RDT14-084	50	3	Trafo	Jl. Perjuangan

16	RDT14-085	100	3	Trafo	Jl. Perjuangan
17	RDT14-089	100	3	Schneider	Jl. Perjuangan

Selanjutnya, dengan menggunakan tabel laju kegagalan dan waktu perbaikan dalam SPLN No. 59 Tahun 1985, laju kegagalan (λ) dan ketidaksediaan komponen (U) untuk load point (LP) pada node utama ini dapat dihitung. Berikut hasil perhitungan nilai laju kegagalan (λ) dan ketidaksediaan komponen (U):

Tabel 4.2 Nilai Laju Kegagalan (λ) dan Ketidaksediaan Komponen (U) Pada Main Feeder

No	LP	PMT		SUTM		Trafo		LBS		No Tiang	Pelanggan	Total	
		λ	r	λ	r	λ	r	λ	r			λ	$U(\lambda \times r)$
1	1	0	10	0,2	3	0	0	0	10	RDT14-015	0	0,18	0,58
2	2	0	0	0,2	3	0,01	10	0	0	RDT14-017	1	0,28	0,86
3	3	0	0	0,2	3	0,01	10	0	0	RDT14-027	1	0,37	1,15
4	4	0	0	0,2	3	0,01	10	0	0	RDT14-031	1	0,38	1,23
5	5	0	0	0,2	3	0,01	10	0	0	RDT14-032	2	0,48	1,55
6	6	0	0	0,2	3	0,01	10	0	0	RDT14-041	1	0,6	1,96
7	7	0	0	0,2	3	0,01	10	0	0	RDT14-053	1	0,62	2,04
8	8	0	0	0,2	3	0,01	10	0	0	RDT14-054	2	0,66	2,21
9	9	0	0	0,2	3	0,01	10	0	0	RDT14-058	1	0,69	2,32
10	10	0	0	0,2	3	0,01	10	0	0	RDT14-060	1	0,7	2,4
11	11	0	0	0,2	3	0,01	10	0	0	RDT14-061	1	0,79	2,75
12	12	0	0	0,2	3	0,01	10	0	0	RDT14-069	2	0,87	3,04
13	13	0	0	0,2	3	0,01	10	0	0	RDT14-076	14	0,9	3,09
14	14	0	0	0,2	3	0,01	10	0	0	RDT14-079	1	0,96	3,29
15	15	0	0	0,2	3	0,01	10	0	0	RDT14-084	1	0,97	3,37
16	16	0	0	0,2	3	0,01	10	0	0	RDT14-085	2	1,02	3,54
17	17	0	0	0,2	3	0,01	10	0	0	RDT14-089	1	1,05	3,77

4.1.2. Gangguan Unavailability Lateral Feeder RDT14

Setelah menghitung laju kegagalan dan waktu perbaikan node pada feeder utama, selanjutnya menghitung laju kegagalan dan waktu perbaikan dari node pada section lateral atau cabang dengan menggunakan persamaan-persamaan yang telah

dibahas. Pada umumnya node cabang terdiri dari komponen yang tersambung secara seri, parallel bahkan gabungan antara seri-paralel.

Merujuk pada Single Line Diagram (SLD) Penyulang RDT14, dapat diamati bahwa jumlah node lateral ada sebanyak 27 cabang. Sebelum dapat menghitung nilai SAIDI dan SAIFI gabungan antara node utama dan node lateral, maka nilai laju kegagalan (λ) dan ketidaksediaan komponen (U) harus dihitung terlebih dahulu menggunakan metode section technique:

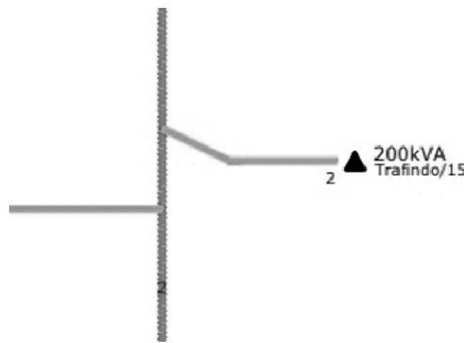
Tabel 4. 3: Jumlah Node Lateral di RDT14

Kode Gardu	No Tiang	Daya Trafo	Fasa
GDL01	RDT14-014/T002	200	3
GDL02	RDT14-022/B001	100	3
GDL03	RDT14-022/B002	160	3
GDL04	RDT14-025/T001	160	3
GDL05	RDT14-025/T001/U001	100	3
GDL06	RDT14-025/T002	100	3
GDL07	RDT14-025/T003/S001	100	3
GDL08	RDT14-025/T008	200	3
GDL09	RDT14-028/T002	100	3
GDL10	RDT14-030/S005/T001	200	3
GDL11	RDT14-030/S006/B001	50	3
GDL12	RDT14-030/T004/S005	100	3
GDL13	RDT14-034/S002	100	3
GDL14	RDT14-038/U001	200	3
GDL15	RDT14-041/S001	160	3
GDL16	RDT14-041/S001A	100	3
GDL17	RDT14-049/B003	50	3
GDL18	RDT14-060/U001	50	3
GDL19	RDT14-061/S001	200	3
GDL20	RDT14-074/S001	100	3
GDL21	RDT14-075/U004	200	3
GDL22	RDT14-078/U001	100	3
GDL23	RDT14-081/B003/S001	25	3
GDL24	RDT14-081/S006	50	3
GDL25	RDT14-081/S009	25	3

Kode Gardu	No Tiang	Daya Trafo	Fasa
GDL26	RDT14-084/S002	25	3
GDL27	RDT14-086/S001	160	3

a. Indeks Keandalan Lateral Section 18

Cabang lateral atau node lateral pertama yang dihitung indeks keandalannya adalah cabang 1 atau section 18. Cabang 1 memiliki Panjang segmen sebesar 100m atau 0.1kms dari feeder atau node utama dengan trafo 3 fasa 200kVA dengan No. Tiang RDT14-014/T002.



Gambar 4. 1: Node Serial dengan Satu Trafo

Setiap trafo distribusi memiliki Fuse Cut Out (FCO) sebagai pengaman trafo yang menjadi standar di Jawa Tengah. Dengan demikian maka indeks keandalannya adalah:

Tabel 4. 4: Indeks Keandalan

Alat	Failure Rate	P.U	r	U
GDL01	0,005	1	10	0,05
FCO01(GDL01)	0,003	1	0,25	0,00075
L1(FCO01 - GDL01)	0,2	0,1	3	0,06

Pada tabel 4.3 diatas, komponen pertama yang diidentifikasi adalah trafo distribusi dengan kode GDL01 (Gardu Distribusi Lateral) dengan nilai failure rate berdasarkan SPLN No. 59 Tahun 1985 adalah 0,005. Untuk kuantitas komponen, pada penelitian ini menggunakan satuan P.U untuk memudahkan perhitungan. Trafo

distribusi adalah komponen yang tidak memiliki dimensi Panjang, sehingga P.U nya adalah 1. Kemudian, komponen berikutnya yang ada adalah FCO01 dengan nilai failure rate sebesar 0,003. Selanjutnya adalah komponen JTM yang menghubungkan main feeder dengan cabang lateral dengan Panjang JTM sebesar 100m atau 0.1kms. dengan demikian, nilai P.U nya adalah 0.1.

Nilai laju kegagalan (λ) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\lambda_{GDL01} &= 0,005 \times 1 \\ &= 0,005\end{aligned}$$

Untuk unavailability (U) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}U_{GDL01} &= 0,005 \times 10 \\ &= 0,05\end{aligned}$$

Tabel 4. 5 : Nilai Laju Kegagalan dan Unavailability

Alat	Failure Rate	P.U	λ	r	U
GDL01	0,005	1	0,005	10	0,05
FCO01(GDL01)	0,003	1	0,003	0,25	0,00075
L1(FCO01 - GDL01)	0,2	0,1	0,02	3	0,06

Kemudian setelah itu, dilakukan perhitungan terhadap komponen lainnya seperti FCO01 dan L1 dengan menggunakan cara yang sama dengan perhitungan GDL01. Seperti pada gambar 14, node 1 lateral diatas merupakan node serial yang hanya memiliki satu trafo distribusi sehingga jumlah nilai laju kegagalan dan unavailability komponennnya, dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\lambda_{LP18} &= 0,005 + 0,003 + 0,02 \\ &= 0,028\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}U_{LP18} &= 0,05 + 0,00075 + 0,06 \\ &= 0,11075\end{aligned}$$

Untuk menghitung jumlah nilai laju kegagalan dan unavailability dari section cabang terhadap section/node utama maka dilakukan penjumlahan terhadap hasil perhitungan laju keandalan dan unavailability antara LP18 dan LP1 karena tapping LP18 berada pada section LP1. Penjumlahan keduanya adalah sebagai berikut:

$$\lambda_A = 0,028 + 0,117$$

$$= 0,205$$

$$U_A = 0,11075 + 0,58$$

$$= 0,69075$$

Kemudian dapat dilakukan perhitungan SAIFI dan SAIDI sebagai berikut:

$$SAIFI_{SEC18} = \frac{0,028 \times 2}{83}$$

$$= 0,004939$$

$$SAIDI_{SEC18} = \frac{0,69075 \times 2}{83}$$

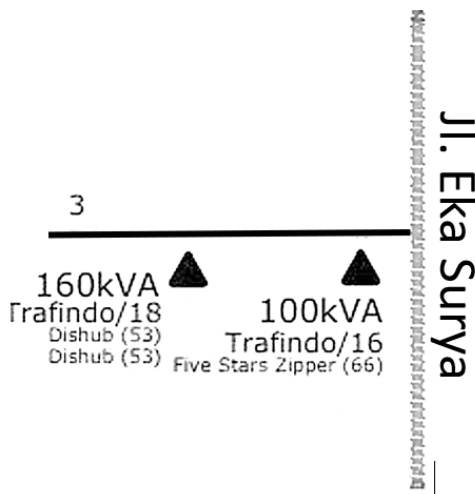
$$= 0,01664$$

Tabel 4. 6: Indeks SAIFI dan SAIDI

Kode	Perhitungan	λ	U	r	N	SAIFI	SAIDI
LP18(GDL01)	L1.GDL01.FCO01	0,028	0,11075	3,95	2		
A	LP18(GDL01).LP1	0,205	0,69075	3,36	2	0,0049	0,0166

b. Indeks Keandalan Lateral Section 19

Cabang lateral atau node lateral kedua yang dihitung indeks keandalannya adalah cabang 2 atau section 19. Cabang 2 memiliki panjang segmen sebesar 150m atau 0.15kms dari feeder atau node utama dan terpasang dua buah trafo 3 fasa 100kVA dengan No. Tiang RDT14-022/B001 dan trafo 3 fasa 160kVA dengan No. Tiang RDT14-022/B002.



Gambar 4. 2: Dua Trafo Terpasang Secara Serial

Seperti pada section 18 atau cabang 1, berdasarkan gambar 15, kedua trafo distribusi yang terpasang terkonfigurasi secara serial sehingga perhitungan terhadap laju kegagalan dan unavailability nya mirip seperti pada section sebelumnya.

Tabel 4.7 Nilai Failure Rate dan Repair Rate Section 19

Alat	Failure Rate	P.U	r
GDL02	0,005	1	10
GDL03	0,005	1	10
FCO02(GDL02)	0,003	1	0,25
FCO03(GDL03)	0,003	1	0,25
L2(MAIN - GDL02)	0,2	0,05	3
L3(GDL02- GDL03)	0,2	0,1	3

Pada tabel 4.6 diatas, komponen yang diidentifikasi adalah trafo distribusi dengan kode GDL02, GDL03, FCO02, FCO03, L2 dan L3 dengan nilai failure rate dan repair time (r) berdasarkan SPLN No. 59 Tahun 1985. L2 merupakan Panjang segmen jaringan dari pangkal jaringan (MAIN) ke trafo GDL02.

Nilai laju kegagalan (λ) trafo GDL02 pada section 19 adalah:

$$\begin{aligned}\lambda_{GDL02} &= 0,005 \times 1 \\ &= 0,005\end{aligned}$$

Nilai unavailability (U) pada section 19 adalah:

$$\begin{aligned}U_{GDL02} &= 0,005 \times 10 \\ &= 0,05\end{aligned}$$

Kemudian setelah itu, dilakukan perhitungan terhadap komponen lainnya seperti GDL02, FCO02, FCO03, L2 dan L3. Seperti pada gambar diatas, cabang 2 merupakan node serial yang memiliki dua trafo distribusi sehingga untuk menghitung jumlah nilai laju kegagalan dan unavailability komponennya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\lambda_{LP19} &= 0,005 + 0,003 + 0,01 \\ &= 0,018 \\ U_{LP19} &= 0,05 + 0,00075 + 0,03 \\ &= 0,08075\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{LP20} &= 0,005 + 0,003 + 0,02 \\ &= 0,028\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}U_{LP20} &= 0,05 + 0,00075 + 0,06 \\ &= 0,11075\end{aligned}$$

Untuk menghitung jumlah nilai laju kegagalan dan unavailability dari kedua load point LP19 dan LP20 maka dilakukan penjumlahan terhadap hasil perhitungan laju keandalan dan unavailability antara LP19 dan LP20 karena kedua load point terhubung secara seri. Penjumlahan keduanya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\lambda_A &= 0,018 + 0,028 \\ &= 0,046\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}U_A &= 0,08075 + 0,11075 \\ &= 0,1915\end{aligned}$$

Untuk menghitung jumlah nilai laju kegagalan dan unavailability dari hasil kedua load point (A) dengan section utama, dalam hal ini section 2 atau load point 2, maka dilakukan penjumlahan antara A dengan LP2.

$$\begin{aligned}\lambda_B &= 0,046 + 0,282 \\ &= 0,328\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}U_B &= 0,1915 + 0,86 \\ &= 1,0515\end{aligned}$$

Kemudian dapat dilakukan perhitungan SAIFI dan SAIDI sebagai berikut:

$$\begin{aligned}SAIFI_{SEC19} &= \frac{0,328 \times 3}{83} \\ &= 0,01185\end{aligned}$$

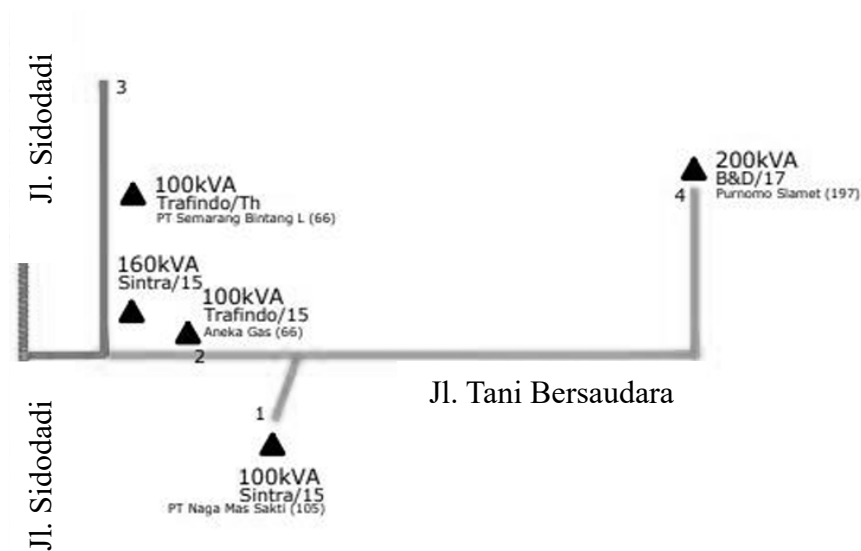
$$\begin{aligned}SAIDI_{SEC19} &= \frac{1,0515 \times 3}{83} \\ &= 0,038\end{aligned}$$

Tabel 4. 8: Laju Kegagalan dan Unavailability Section 19

Kode	Perhitungan	λ	U	r	N	SAIFI	SAIDI
LP19(GDL02)	L2.GDL02.FCO02	0,018	0,08075	4,486	2		
LP20(GDL03)	L3.GDL03.FCO03	0,028	0,11075	3,955	1		
A	LP19.LP20	0,046	0,1915	4,163			
B	A.LP2	0,328	1,0515	3,205	3	0,0118	0,038

c. Indeks Keandalan Lateral Section 20

Cabang lateral atau node lateral ketiga yang dihitung indeks keandalannya adalah cabang 3 atau section 20. Cabang 3 memiliki panjang segmen sebesar 600m atau 0.6kms dari feeder atau node utama dan terpasang 5 buah trafo 3 fasa masing masing: 100kVA dengan nomor tiang RDT14-025/T001, 100kVA dengan nomor tiang RDT14-025/T001/U001, 100kVA dengan nomor tiang RDT14-025/T002, 100kVA dengan nomor RDT14-025/T003/S001 dan trafo 200kVA dengan nomor tiang RDT14-025/T008.



Gambar 4.3 Lima Trafo Terpasang secara Seri-Pararel

Seperti pada section 20 atau cabang 3, berdasarkan gambar 4.3 diatas, kelima trafo distribusi yang terpasang terkonfigurasi secara seri-parallel sehingga perhitungan terhadap laju kegagalan dan unavailability nya berbeda dengan sebelumnya dengan menjumlahkan trafo yang terhubung secara seri terlebih dahulu kemudian baru menjumlahkan secara paralel.

Tabel 4.9 Laju Kegagalan dan Unavailability Section 20

Alat	Failure Rate	P.U	r
GDL04	0,005	1	10
GDL05	0,005	1	10

GDL06	0,005	1	10
GDL07	0,005	1	10
GDL08	0,005	1	10
FCO04(GDL04)	0,003	1	0,25
FCO05(GDL05)	0,003	1	0,25
FCO06(GDL06)	0,003	1	0,25
FCO07(GDL07)	0,003	1	0,25
FCO08(GDL08)	0,003	1	0,25
L4(MAIN - GDL04)	0,2	0,05	3
L5(GDL04 - GDL05)	0,2	0,15	3
L6(GDL04 - GDL06)	0,2	0,05	3
L7(GDL06 - CAB1)	0,2	0,05	3
L8(CAB1 - GDL07)	0,2	0,05	3
L9(CAB1 - GDL08)	0,2	0,25	3

Pada table diatas, komponen yang diidentifikasi adalah trafo distribusi dengan kode GDL04 - GDL08, FCO04 - FCO08, dan L4 – L19 dengan nilai failure rate dan unavailability berdasarkan SPLN No. 59 Tahun 1985. Nilai laju kegagalan (λ) trafo GDL04 pada section 20 adalah:

$$\begin{aligned}\lambda_{GDL04} &= 0,005 \times 1 \\ &= 0,005\end{aligned}$$

Nilai unavailability (U) pada section 20 adalah:

$$\begin{aligned}U_{GDL04} &= 0,005 \times 10 \\ &= 0,05\end{aligned}$$

Kemudian setelah itu, dilakukan perhitungan terhadap komponen lainnya seperti GDL05 – GDL08, FCO04, FCO08, dan L4 – L9. Setelah dilakukan perhitungan terhadap seluruh komponen yang ada, maka didapatkan hasil seperti pada tabel 4.10 dibawah ini:

Tabel 4.10: Indeks Laju Kegagalan dan Unavailability Section 20

Alat	Failure Rate	P.U	λ	r	U
GDL04	0,005	1	0,005	10	0,05
GDL05	0,005	1	0,005	10	0,05

GDL06	0,005	1	0,005	10	0,05
GDL07	0,005	1	0,005	10	0,05
GDL08	0,005	1	0,005	10	0,05
FCO04(GDL04)	0,003	1	0,003	0,25	0,00075
FCO05(GDL05)	0,003	1	0,003	0,25	0,00075
FCO06(GDL06)	0,003	1	0,003	0,25	0,00075
FCO07(GDL07)	0,003	1	0,003	0,25	0,00075
FCO08(GDL08)	0,003	1	0,003	0,25	0,00075
L4(MAIN - GDL04)	0,2	0,05	0,01	3	0,03
L5(GDL04 - GDL05)	0,2	0,15	0,03	3	0,09
L6(GDL04 - GDL06)	0,2	0,05	0,01	3	0,03
L7(GDL06 - CAB1)	0,2	0,05	0,01	3	0,03
L8(CAB1 - GDL07)	0,2	0,05	0,01	3	0,03
L9(CAB1 - GDL08)	0,2	0,25	0,05	3	0,15

Seperti pada gambar 4.10 diatas, cabang 3 merupakan node yang terhubung secara seri dan paralel. Untuk menentukan nilai laju kegagalan dan unavailability section 20, maka terlebih dahulu dihitung nilai pada load point komponennya:

$$\begin{aligned}\lambda_{LP21} &= 0,005 + 0,003 + 0,01 \\ &= 0,018\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}U_{LP21} &= 0,05 + 0,00075 + 0,03 \\ &= 0,08075\end{aligned}$$

Kemudian setelah itu, dilakukan perhitungan terhadap komponen lainnya seperti GDL05 – GDL08, FCO04, FCO08, dan L4 – L9 dan didapatkan hasil seperti pada tabel 4.10 dibawah:

Tabel 4.11: Hasil Perhitungan GDL05 – GDL08, FCO04, FCO08, dan L4 – L9

Kode	Perhitungan	λ	U	r
LP21(GDL04)	L4.GDL04.FCO04	0,018	0,08075	4,486
LP22(GDL05)	L5.GDL05.FCO05	0,038	0,14075	3,703
LP23(GDL06)	L6.GDL06.FCO06	0,018	0,08075	4,486
LP24(L7)	L7	0,01	0,03	3
LP25(GDL07)	L8.GDL07.FCO07	0,018	0,08075	4,486

LP26(GDL08	L9.GDL08.FCO08	0,058	0,20075	3,461
------------	----------------	-------	---------	-------

Untuk menghitung jumlah nilai laju kegagalan dan unavailability dari kelima load point pada cabang 3, maka terlebih dahulu menghitung laju kegagalan dan unavailability pada sub cabangnya.

- a. Trafo LP25 dan LP26 (LP25//LP26) yang selanjutnya disebut A, terhubung secara paralel, sehingga dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\lambda_{LP25/LP26} &= (0,018 \times 0,058) \times (4,4861 + 3,4612) \\ &= 0,0082\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}U_{LP25/LP26} &= 0,08075 \times 0,20075 \\ &= 0,01621\end{aligned}$$

- b. A terhubung secara seri dengan LP23 dan LP24 (A.LP23.LP24) yang selanjutnya disebut dengan B, sehingga perhitungannya:

$$\begin{aligned}\lambda_{A,LP23,LP24} &= 0,0082 + 0,018 + 0,01 \\ &= 0,0362\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}U_{A,LP23,LP24} &= 0,08075 + 0,03 + 0,0162 \\ &= 0,0313\end{aligned}$$

- c. LP21 terhubung secara seri dengan LP22 (LP21.LP22) yang selanjutnya disebut dengan C, sehingga perhitungannya:

$$\begin{aligned}\lambda_{LP21,LP22} &= 0,018 + 0,038 \\ &= 0,056\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}U_{LP21,LP22} &= 0,08075 + 0,14075 \\ &= 0,2215\end{aligned}$$

- d. B terhubung secara paralel dengan C (B//C) yang selanjutnya disebut dengan D, sehingga perhitungannya:

$$\begin{aligned}\lambda_{B/C} &= (0,0362 \times 0,056) \times (0,8625 + 3,955) \\ &= 0,00979\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}U_{LP25/LP26} &= 0,0313 \times 0,2215 \\ &= 0,00639\end{aligned}$$

Untuk menghitung jumlah nilai laju kegagalan dan unavailability dari hasil penjumlahan load point cabang dengan section utama, dalam hal ini node D, maka dilakukan penjumlahan antara D dengan LP2.

$$\begin{aligned}\lambda_{D,LP2} &= 0,00979 + 0,282 \\ &= 0,2917\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}U_B &= 0,00693 + 0,86 \\ &= 0,8669\end{aligned}$$

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan λ , U dan r

Kode	Perhitungan	λ	U	r
LP21(GDL04)	L4.GDL04.FCO04	0,018	0,08075	4,486
LP22(GDL05)	L5.GDL05.FCO05	0,038	0,14075	3,703
LP23(GDL06)	L6.GDL06.FCO06	0,018	0,08075	4,486
LP24(L7)	L7	0,01	0,03	3
LP25(GDL07)	L8.GDL07.FCO07	0,018	0,08075	4,486
LP26(GDL08)	L9.GDL08.FCO08	0,058	0,20075	3,461
A	LP25//LP26	0,008297	0,016210563	1,953
B	A.LP24.LP23	0,036297	0,031309003	0,862
C	LP21.LP22	0,056	0,2215	3,955
D	B//C	0,00979309	0,006934944	0,708
E	D.LP2	0,29179309	0,866934944	2,971

Kemudian dapat dilakukan perhitungan SAIFI dan SAIDI dengan memasukan faktor jumlah pelanggan total dan jumlah pelanggan yang terhubung pada cabang 3 atau section 20:

$$\begin{aligned}SAIFI_{SEC19} &= \frac{0,2917 \times 8}{83} \\ &= 0,02812\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SAIDI_{SEC19} &= \frac{0,8669 \times 8}{83} \\ &= 0,08355\end{aligned}$$

Untuk cabang 21 sampai dengan cabang 34 dihitung dengan menggunakan metode yang sama untuk rangkaian yang terhubung secara seri dan paralel. Hasil perhitungan untuk masing-masing cabang dapat dilihat pada lampiran. Berikut

merupakan summary hasil perhitungan nilai laju kegagalan, unavailability, SAIFI dan SAIDI pada penyulang RDT03 yang terdiri dari 34 section gabungan antara section utama dan section lateral.

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan SAIFI dan SAIDI Section 18-34

Cabang	λ	U	N	SAIFI	SAIDI
CAB18	0,205	0,69	2	0,005	0,0166
CAB19	0,328	0,105	3	0,012	0,038
CAB20	0,292	0,8669	8	0,028	0,0835
CAB21	0,395	1,26	2	0,01	0,0303
CAB22	0,368	1,15	14	0,062	0,194
CAB23	0,505	1,66	2	0,012	0,04
CAB24	0,495	1,63	2	0,012	0,039
CAB25	0,628	2,09	5	0,041	0,146
CAB26	0,65	2,13	2	0,016	0,051
CAB27	0,72	2,48	1	0,009	0,0298
CAB28	0,818	2,86	1	0,01	0,034
CAB29	0,886	3,12	1	0,011	0,037
CAB30	0,916	3,21	1	0,011	0,038
CAB31	0,921	0,08	1	0,011	0,0009
CAB32	0,962	3,294	3	0,035	0,119
CAB33	1,001	3,48	1	0,012	0,0419
CAB34	1,036	3,62	1	0,012	0,0436

4.1.3. Indeks Keandalan Eksisting Penyulang RDT14

Lokasi letak recloser eksisting pada penyulang RDT14 terletak pada feeder utama pada Section 25. Sebelum melakukan optimalisasi penempatan recloser untuk menekan angka SAIFI dan SAIDI, maka dilakukan perhitungan estimasi nilai indeks keandalan penyulang terlebih dahulu.

Setelah melakukan perhitungan laju kegagalan dan unavailability pada sub bab 4.1.1 dan 4.1.2 maka data tersebut digunakan untuk menghitung nilai SAIFI dan SAIDI. Hasil perhitungan terhadap laju kegagalan dan unavailability dari node utama atau main feeder digabungkan dengan hasil perhitungan laju kegagalan dan

unavailability dari node cabang atau section. Hasilnya dapat dilihat pada table 4.14 berikut:

Tabel 4.14 Indeks Keandalan Eksisting Penyulang RDT14

LP Section Utama	λ	U	N	$\Lambda \times \#PLG$	$U \times \#PLG$
1	0,205	0,691	2	0,410	1,382
2	0,620	1,918	12	7,438	23,021
3	0,763	2,411	17	12,963	40,991
4	0,382	1,230	1	0,382	1,230
5	1,000	3,292	6	6,000	19,749
6	1,278	4,222	8	10,224	33,778
7	0,617	2,040	1	0,617	2,040
8	0,662	2,210	2	1,324	4,420
9	0,687	2,320	1	0,687	2,320
10	0,720	2,481	2	1,440	4,962
11	0,818	2,861	2	1,636	5,722
12	1,802	6,332	4	7,208	25,326
13	0,921	0,808	15	13,815	12,121
14	0,962	3,295	4	3,848	13,179
15	1,001	3,481	2	2,002	6,962
16	1,036	3,621	3	3,108	10,862
17	1,046	3,770	1	1,046	3,770

Setelah menghitung hasil total nilai laju kegagalan x jumlah pelanggan per section dari masing-masing load point dari section 1 hingga section 17, data dijumlahkan berdasarkan section dari PMT s/d Recloser sebagai section 1 dan dari Recloser s/d ujung sebagai section 2.

Tabel 4.15 Indeks Keandalan System Section 1 – 17

SECTION	Indeks Keandalan Sistem		Jumlah Pelanggan
	$\lambda_{total} \times \#PLG$	$U_{total} \times \#PLG$	
PMT S/D REC	37,41646083	120,1508302	46
REC S/D UJUNG	36,73056249	80,77314791	37
TOTAL	74,14702332	200,9239781	83

Dengan menggunakan persamaan, maka nilai indeks keandalan SAIFI dapat dihitung:

$$SAIFI_{SEC19} = \frac{74,146}{83}$$

$$= 0,8933$$

$$SAIDI_{SEC19} = \frac{200,9239}{83}$$

$$= 2,4207$$

Dengan demikian, maka nilai indeks keandalan penyulang RDT03 existing adalah sebesar 0,8933 untuk SAIFI dan 2,4207 untuk SAIDI

4.2. Indeks Keandalan Lokasi Recloser dengan Particle Swarm Optimization

Setelah melakukan perhitungan laju kegagalan, unavailability, SAIDI dan SAIFI dari section utama dan section cabang, maka hasil dari perhitungan ini dimasukkan kedalam algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) dengan menggunakan Bahasa pemrograman MATLAB. Adapun parameter – parameter yang dimasukkan adalah data Panjang Bus dan data perhitungan SAIFI dan SAIDI dari section cabang.

```
busdata = [
1 100 0.85 0
2 200 0.4 1
3 160 0.05 1
4 160 0.05 1
5 50 0.45 2
6 100 0.1 2
7 100 0.05 1
8 160 0.2 1
9 100 0.1 2
10 100 0.05 1
```

```

11 100 0.15 1
12 160 0.35 2
13 100 0.4 2
14 160 0.25 1
15 100 0.25 1
16 100 0.05 1
17 160 0.1 1
J;

SAIFI = zeros(size(busdata,1), 1);
SAIDI = zeros(size(busdata,1), 1);
fitL = zeros(size(busdata,1), 1);

node = [
18 0.004939759 0.016644578
19 0.011855422 0.038006924
20 0.002186443 0.038509951
21 0.002688365 0.035589936
22 0.016912355 0.194058861
23 0.002465675 0.015319978
24 0.001192771 0.009172471
25 0.003781325 0.016034328
26 0.015662651 0.118204295
27 0.00674649 0.035860747
28 0.009855422 0.034659813
29 0.00674649 0.038580459
30 0.00939759 0.043953674
31 0.011144578 0.039136747
32 0.012481928 0.043624394
J;

```

Dari Bus data yang diinput kedalam program MATLAB sesuai dengan hasil analisis yang dihitung pada sub bab berikutnya, maka penginputan program untuk menampilkan hasil SAIFI dan SAIDI terbaik adalah sebagai berikut :

```

% -----
% PARAMETER PSO
% -----
nVar = 3;           % Jumlah recloser
VarMin = 1;         % Indeks node minimum
VarMax = size(node, 1); % Indeks node maksimum
MaxIt = 50;          % Iterasi maksimum
nPop = 30;           % Jumlah partikel

```

```

w = 0.7;           % Inersia
c1 = 1.5;          % Personal coef
c2 = 1.5;          % Global coef
% -----
% INISIALISASI PARTIKEL
% -----
empty_particle.Position = [];
empty_particle.Velocity = [];
empty_particle.Cost = [];
empty_particle.SAIFI = [];
empty_particle.SAIDI = [];
empty_particle.Best.Position = [];
empty_particle.Best.Cost = [];
particle = repmat(empty_particle, nPop, 1);
GlobalBest.Cost = inf;
for i = 1:nPop
    particle(i).Position = randi([VarMin VarMax], 1, nVar);
    particle(i).Velocity = zeros(1, nVar);

    [particle(i).Cost,      particle(i).SAIFI,      particle(i).SAIDI] =
    FitnessFunction(particle(i).Position, node);

    particle(i).Best.Position = particle(i).Position;
    particle(i).Best.Cost = particle(i).Cost;

    if particle(i).Best.Cost < GlobalBest.Cost
        GlobalBest = particle(i).Best;
        GlobalBest.SAIFI = particle(i).SAIFI;
        GlobalBest.SAIDI = particle(i).SAIDI;
    end
end
% -----
% OPTIMISASI
% -----
BestCost = zeros(MaxIt, 1);
for it = 1:MaxIt
    for i = 1:nPop
        % Update velocity
        particle(i).Velocity = w*particle(i).Velocity ...
            + c1*rand(1, nVar).*(particle(i).Best.Position - particle(i).Position) ...
            + c2*rand(1, nVar).*(GlobalBest.Position - particle(i).Position);

        % Update position
        particle(i).Position = round(particle(i).Position + particle(i).Velocity);
        particle(i).Position = max(min(particle(i).Position, VarMax), VarMin);
    end
end

```

```

    % Evaluate cost
    [particle(i).Cost, particle(i).SAIFI, particle(i).SAIDI] =
    FitnessFunction(particle(i).Position, node);

    % Update personal best
    if particle(i).Cost < particle(i).Best.Cost
        particle(i).Best.Position = particle(i).Position;
        particle(i).Best.Cost = particle(i).Cost;

    % Update global best
    if particle(i).Best.Cost < GlobalBest.Cost
        GlobalBest = particle(i).Best;
        GlobalBest.SAIFI = particle(i).SAIFI;
        GlobalBest.SAIDI = particle(i).SAIDI;
    end
end
end
BestCost(it) = GlobalBest.Cost;
fprintf('Iterasi %d: Best Fitness = %.8f\n', it, BestCost(it));
end
% -----
% HASIL AKHIR
% -----
disp('Posisi optimal recloser (node):');
disp(GlobalBest.Position);
disp('Nilai fitness minimum:');
disp(GlobalBest.Cost);
fprintf('SAIFI terbaik: %.8f\n', GlobalBest.SAIFI);
fprintf('SAIDI terbaik: %.8f\n', GlobalBest.SAIDI);
% -----
% PLOT KONVERGENSI
% -----
plot(BestCost, 'LineWidth', 2);
xlabel('Iterasi'); ylabel('Best Fitness');
title('Konvergensi PSO'); grid on;
% -----
% FUNGSI FITNESS
% -----
function [cost, SAIFI, SAIDI] = FitnessFunction(pos, node)
    SAIFI = 0;
    SAIDI = 0;
    for i = 1:length(pos)
        idx = pos(i);
        if idx <= size(node,1)

```

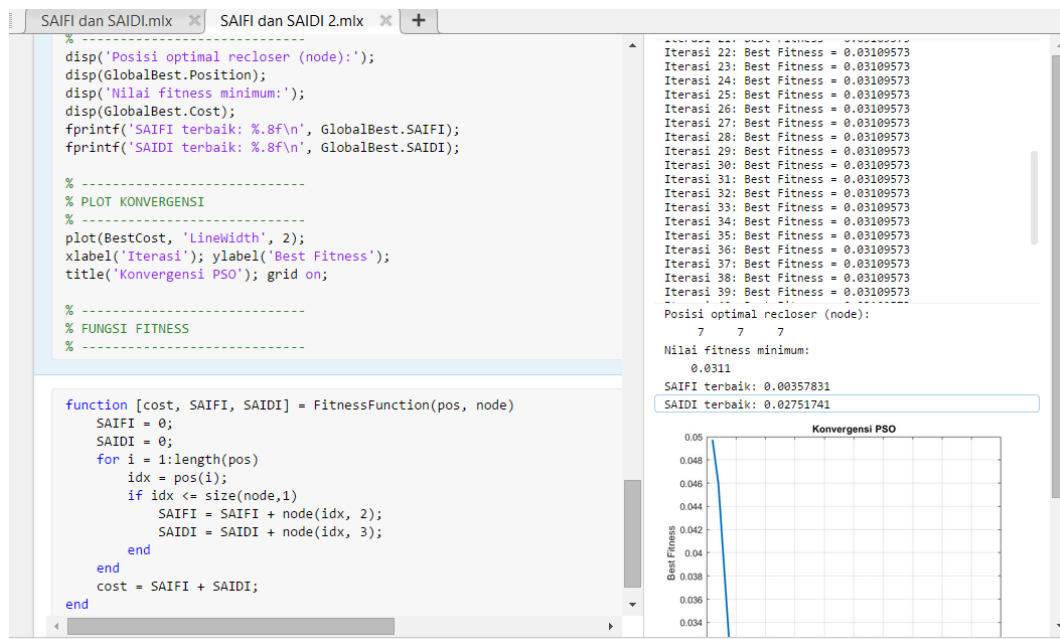
```

        SAIFI = SAIFI + node(idx, 2);
        SAIDI = SAIDI + node(idx, 3);
    end
end
cost = SAIFI + SAIDI;
end

```

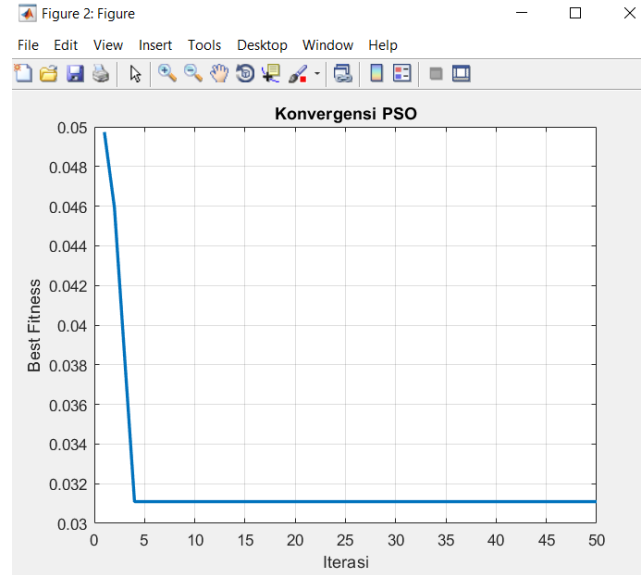
4.3. Analisis Hasil Optimalisasi

Setelah memasukkan semua parameter seperti inisialisasi program, konstanta dan memasukan data bus dan data SAIFI – SAIDI section kedalam program MATLAB, kemudian dilakukan simulasi dan didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 4.4 Hasil Optimalisasi SAIFI dan SAIDI pada MATLAB

Menurut hasil optimalisasi menggunakan PSO, maka didapatkan hasil bahwa Best Fitness untuk penempatan recloser yang paling optimal adalah pada section 7 dengan nilai SAIFI sebesar 0.0035 dan nilai SAIDI sebesar 0,0275. Jika dibandingkan dengan letak recloser existing, recloser existing terletak pada section yang sekarang memiliki nilai SAIFI sebesar 0,8933 dan SAIDI sebesar 2,407.



Gambar 4.5 Grafik Konfigurasi PSO pada MATLAB

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa nilai fitness turun dengan cepat dari sekitar 0,05 menjadi 0,031 hanya dalam beberapa iterasi awal. Ini berarti algoritma PSO dapat dengan cepat menemukan solusi yang jauh lebih baik di awal proses pencarian. Setelah itu, grafik menjadi datar, menandakan bahwa nilai fitness tidak banyak berubah lagi. Artinya, algoritma sudah menemukan solusi terbaik dan tidak bisa menemukan yang lebih baik lagi pada iterasi-iterasi berikutnya. Hal ini menunjukkan bahwa PSO telah stabil dan partikel-partikelnya sudah mengarah ke titik solusi yang paling optimal. Proses konvergensi atau pencapaian solusi optimal terjadi sangat cepat, sekitar pada iterasi ke-5. Dengan begitu, dapat disimpulkan bahwa pengaturan parameter PSO pada program ini sudah cukup baik dan efisien untuk menyelesaikan masalah penempatan recloser secara optimal.

Dengan demikian terdapat peningkatan keandalan jaringan jika recloser pada penyulang RDT14 direlokasi menuju lokasi section 7. Dengan menggunakan PSO, diperoleh lokasi letak recloser yang baru yaitu pada section 7 dan nilai SAIFI yang lebih optimal dengan terdapat penurunan yang signifikan.

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, adapun kesimpulan yang dapat ditarik pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengaruh Penempatan Recloser terhadap Keandalan Pasokan Listrik
 Penempatan recloser memiliki peranan yang sangat penting dalam menjaga kontinuitas pasokan energi listrik kepada konsumen. Dari hasil analisis, terbukti bahwa lokasi penempatan recloser yang tidak optimal dapat menyebabkan meluasnya dampak pemadaman ketika terjadi gangguan pada jaringan. Dengan melakukan relokasi recloser ke titik yang lebih strategis, yaitu pada section 7, distribusi tenaga listrik menjadi lebih handal karena area terdampak gangguan dapat dipersempit. Hal ini menunjukkan bahwa keandalan jaringan distribusi sangat dipengaruhi oleh strategi penempatan peralatan proteksi, sehingga pengaturan posisi recloser harus direncanakan dengan cermat agar kontinuitas suplai listrik tetap terjaga.
2. Efektivitas Recloser dalam Mengurangi Gangguan Listrik
 Recloser terbukti sangat efektif dalam meminimalisir dampak dari berbagai gangguan yang terjadi di jaringan distribusi, baik berupa gangguan sementara akibat petir atau hewan, maupun gangguan permanen seperti korsleting antar-fasa. Fungsi otomatis pada recloser yang mampu melakukan pemutusan dan penyambungan kembali aliran listrik dalam waktu singkat memberikan keuntungan besar bagi sistem distribusi. Proses ini tidak hanya mempercepat pemulihan sistem setelah gangguan, tetapi juga melindungi peralatan jaringan dari kerusakan yang lebih parah. Dengan demikian, recloser memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan efisiensi operasional serta mengurangi intervensi manual yang biasanya memerlukan waktu lebih lama untuk pemulihan..

3. Pengaruh Penempatan Recloser terhadap Nilai SAIFI dan SAIDI Analisis menggunakan metode Particle Swarm Optimization (PSO) menunjukkan adanya perbaikan signifikan pada nilai indeks keandalan setelah recloser ditempatkan di posisi optimal. Nilai SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) berhasil diturunkan dari 0,8933 menjadi 0,0035, sementara nilai SAIDI (System Average Interruption Duration Index) menurun dari 2,407 menjadi 0,0275. Penurunan kedua indikator ini membuktikan bahwa penempatan recloser yang tepat dapat secara signifikan mengurangi frekuensi dan durasi pemadaman listrik yang dialami konsumen. Dengan demikian, kualitas layanan kelistrikan meningkat, keandalan sistem lebih terjamin, serta kepuasan pelanggan dapat lebih baik terjaga..

5.2 Saran

1. PLN disarankan melakukan evaluasi berkala terhadap kinerja recloser yang sudah terpasang, serta mempertimbangkan penambahan recloser pada titik-titik rawan gangguan guna meningkatkan keandalan sistem distribusi secara menyeluruh.
2. Integrasi recloser dengan sistem SCADA perlu diperluas untuk memungkinkan pemantauan dan pengendalian secara real-time, serta meningkatkan kecepatan respon terhadap gangguan.
3. peningkatan kapasitas teknis SDM, baik dalam hal instalasi, pemeliharaan, maupun pengoperasian recloser, perlu menjadi prioritas agar teknologi yang digunakan dapat dioptimalkan secara maksimal.
4. Penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan mempertimbangkan penggunaan teknologi sensor cerdas dan sistem distribusi otomatisasi (distribution automation system) untuk pengembangan sistem proteksi yang lebih adaptif dan responsif terhadap gangguan di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Teknologi and E. Uda, “Analisis Peningkatan Kinerja Jaringan Distribusi 20Kv Dengan Metode Thermovisi Jaringan Pt. Pln (Persero) Ulp Medan Baru,” *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 1, pp. 8–19, 2020.
- [2] M. Fahrulrozi, H. Suyono, and A. Lomi, “Peningkatan Keandalan Sistem Distribusi dengan Relokasi Penempatan Fuse-Recloser Optimal karena Injeksi Pembangkit Tersebar,” *Agustus*, vol. 13, no. 2, pp. 78–83, 2019, [Online]. Available: <https://jurnaleccis.ub.ac.id/>
- [3] D. Wijayanti, “Optimisasi Penempatan Recloser untuk Meminimalisir Nilai SAIFI dan SAIDI pada Penyulang PDP 04 Menggunakan Particle Swarm Optimization (PSO),” *Transient*, vol. 5, no. 3, pp. 315–319, 2016.
- [4] G. GOOD, “~~濟無~~No Title No Title No Title,” *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., vol. 1, no. April, 2015.
- [5] T. Febrian, L. Lambang, and A. Warsito, “Untuk Meminimalisir Nilai Saifi Dan Saidi Pada Sistem Distribusi Jaringan Radial Penyulang Srl-02 Menggunakan Artificial Bee Colony Algorithm,” pp. 2–7, 2017.
- [6] G. A. W. Arta, N. M. Karmiathi, and I. N. Mudiana, “Analisis Penempatan Recloser Dan Fuse Cut Out Terhadap keandalan Sistem Tenaga Listrik Di Penyulang Lovina Di PT. PLN (PERSERO) ULP Singaraja,” 2022, [Online]. Available: <http://repository.pnb.ac.id/6838/>
- [7] Hardiyanto, “Studi Penempatan Recloser Pada Jaring Distribusi 20 Kv Di Penyulang 21 Tarai Pt. Pln (Persero) Rayon Panam,” *J. Ilm. Unilak*, pp. 1–10, 2018.
- [8] P. Doloksaribu, “Analisa Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik,” *J. Tek. Elektro Univ. Cendrawasih*, vol. 1, no. 1, pp. 20–24, 2010.
- [9] N. A. Basyarach, “Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Radial Untuk Minimisasi Rugi Daya Menggunakan Binary Particle Swarm Optimization (Bpso),” *Inst. Teknol. Sepuluh Nopember.*, vol. 04, no. 01, pp. 1–54, 2016.
- [10] Sulasno, “Teknik Konversi Energi Listrik dan Sistem Pengaturan,” *Graha Ilmu*,

vol. 13, no. 1, pp. 33–39, 2009.

- [11] A. Indra, A. Tanjung, and U. Situmeang, “Analisis Profil Tegangan Dan Rugi Daya Jaringan Distribusi 20 kV PT PLN (Persero) Rayon Siak Sri Indrapura Dengan Beroperasinya PLTMG Rawa Minyak,” *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 4, no. 1, pp. 25–31, 2019.
- [12] B. Halik, I Made Wartana, and Widodo Pudji Muljanto, “Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Untuk Reduksi Rugi Daya Dan Meningkatkan Profil Tegangan Di PT. PLN (Persero) ULP Larantuka Flores Timur,” *Magnetika*, vol. Volume 7, pp. 328–336, 2023.
- [13] A. Mappa, “Analisa Kerja Recloser Untuk Memproteksi Jaringan Distribusi Di Pt. Pln (Persero) Area Sorong,” *Electro Luceat*, vol. 3, no. 1, p. 5, 2017, doi: 10.32531/jelekn.v3i1.26.
- [14] S. Hani, G. Santoso, and R. D. Wibowo, “Penempatan Recloser Sebagai Parameter Penentu Keandalan Sistem Proteksi Pada Sistem Distribusi,” *Simp. Nas. RAPI XVIII*, vol. 3, no. 2, pp. 21–27, 2019.
- [15] M. T. S. Purnama, W. P. Muljanto, T. Elektro, S. Itn, and M. Indonesia, “Sistem Distribusi 20 Kv Mataram-Lombok Menggunakan Metode Load Model Section,” vol. 07, pp. 159–170, 2023.
- [16] U. Faruq, A. Ridho, M. Vrayulis, and E. Julio, “Analisa Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik menggunakan ETAP 12.6,” *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 6, no. 1, pp. 16–22, 2021, doi: 10.31849/sainetin.v6i1.7031.
- [17] Harahap, P., & Adam, M. (2021). Efisiensi Daya Listrik Pada Dispenser Dengan Jenis Merk Yang Berbeda Menggunakan Inverter. *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, 4(1), 37. <https://doi.org/10.24853/resistor.4.1.37-42>
- [18] Putri, M., & Pasaribu, I. (2018). Analisis Kualitas Daya Akibat Beban Reaktansi Induktif (XL) di Industri. *Journal of Electrical Technology*, 3(2), 82.
- [19] Tharo, Z., Putera, A., Siahaan, U., & Evalina, N. (2016). Improvisation Analysis of Reactive Power Energy Saving Lamps Based on Inverter. *International Journal of Engineering and Techniques Jl. Jend. Gatot Subroto Km. Sei Sikambing*, 4(3), 141–145. <http://www.ijetjournal.org>