

**OPTIMALISASI PENEMPATAN RECLOSER JARINGAN  
DISTRIBUSI 20kV PENYULANG RDT03 MENGGUNAKAN  
ALGORITMA OPTIMASI *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*  
UNTUK MENEKAN SAIDI DAN SAIFI DI KAWASAN  
INDUSTRI TAMBAK AJI**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT  
MEMPEROLEH GELAR S1 PADA PRODI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS  
TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG



**OLEH**

**HERYOGKA AHMAD WARITZA**

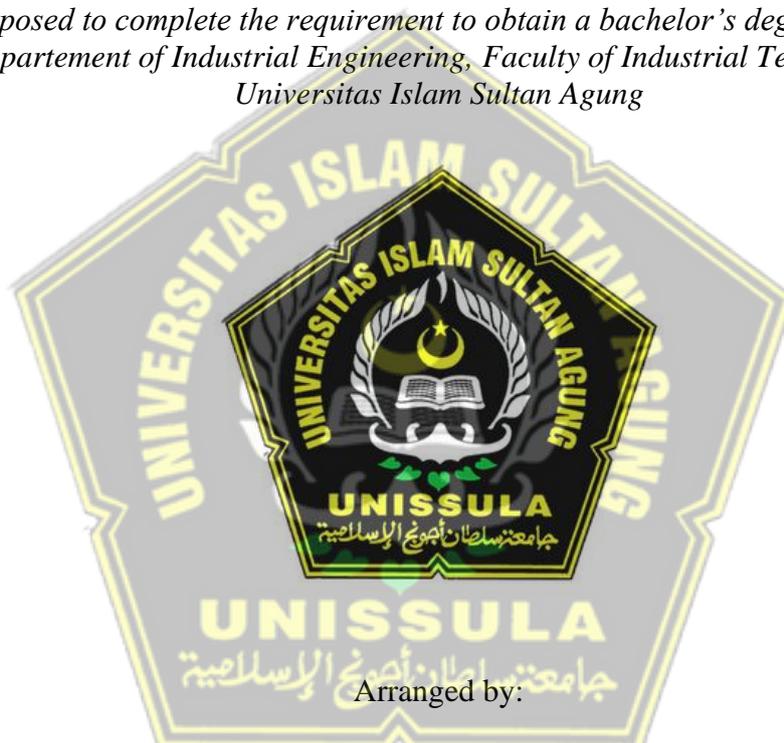
**30601501786**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG  
AGUSTUS 2022**

**OPTIMIZATION OF RECLOSER PLACEMENT OF 20kV  
DISTRIBUTION NETWORK RDT03 SUPPLIERS USING  
*PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* ALGORITHM TO  
SUPPRESS SAIDI AND SAIFI IN TAMBAK AJI INDUSTRIAL  
PARK**

**FINAL REPORT**

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1) at  
Departement of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Technology,  
Universitas Islam Sultan Agung*



**HERYOGKA AHMAD WARITZA**

**30601501786**

**MAJORING OF INDUSTRIAL ENGINEERING  
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY  
SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY  
SEMARANG  
AUGUST 2022**

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “OPTIMALISASI PENEMPATAN RECLOSER JARINGAN DISTRIBUSI 20kV PENYULANG RDT03 MENGGUNAKAN ALGORITMA OPTIMASI *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK MENEKAN SAIDI DAN SAIFI DI KAWASAN INDUSTRI TAMBAK AJI” ini disusun oleh:

Nama : Heryogka Ahmad Waritza

NIM : 30601501786

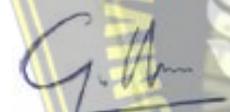
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Kamis

Tanggal : 01 September 2022

Pembimbing I

  
Gunawan ST., MT.  
 NIDN.0607117101

Pembimbing II

  
Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho. MT  
 NIDN.0628086501



Mengetahui,  
 Ka. Program Studi Teknik Elektro

  
Jenny Putri Hapsari, S.T. M.T.  
 NIDN. 0607018501

13/09/22

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “OPTIMALISASI PENEMPATAN RECLOSER JARINGAN DISTRIBUSI 20kV PENYULANG RDT03 MENGGUNAKAN ALGORITMA OPTIMASI *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK MENEKAN SAIDI DAN SAIFI DI KAWASAN INDUSTRI TAMBAK AJI” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Kamis  
Tanggal : 01 September 2022

Tim Penguji

Tanda Tangan

Ir. H. Ida Widihastuti, MT.  
NIDN : 0005036501  
Ketua Penguji

Ir. H. Sukarno Budi Utomo, MT  
NIDN: 0619076401  
Penguji I

Munaf Ismail, ST, MT  
NIDN: 0613127302  
Penguji II

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Heryogka Ahmad Waritza  
NIM : 30601501786  
Prodi : Program Studi Teknik Elektro  
Judul Tugas Akhir : Optimalisasi Penempatan Recloser Jaringan Distribusi 20kV Penyulang RDT03 Menggunakan Algoritma *Particle Swarm Optimization* Untuk Menekan SAIDI dan SAIFI di Kawasan Industri Tambak Aji.

Dengan ini Saya menyatakan bahwa judul dan isi Tugas Akhir yang Saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan tersebut adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan oleh siapapun baik keseluruhan maupun sebagian,

Dan apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa judul Tugas Akhir yang Saya buat pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan, maka Saya bersedia dikenakan sanksi akademik sesuai peraturan yang berlaku. Demikian surat pernyataan ini Saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 2 September 2022

Yang menyatakan



10000  
METERAN  
TEMPEL  
OF0CAJX995836631

( Heryogka Ahmad Waritza )

NIM. 30601501786

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Heryogka Ahmad Waritza

NIM : 30601501786

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi industri

Alamat Asal : Oma Campus Blok A12 No.5 Kab. Malang Kec. Dau

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas akhir dengan Judul : **OPTIMALISASI PENEMPATAN RECLOSER JARINGAN DISTRIBUSI 20KV PENYULANG RDT03 MENGGUNAKAN ALGORITMA *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK MENEKAN SAIDI DAN SAIFI DI KAWASAN INDUSTRI TAMBAK AJI.**

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan diinternet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiatisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan agung.

Semarang,2 September 2022

Yang menyatakan  

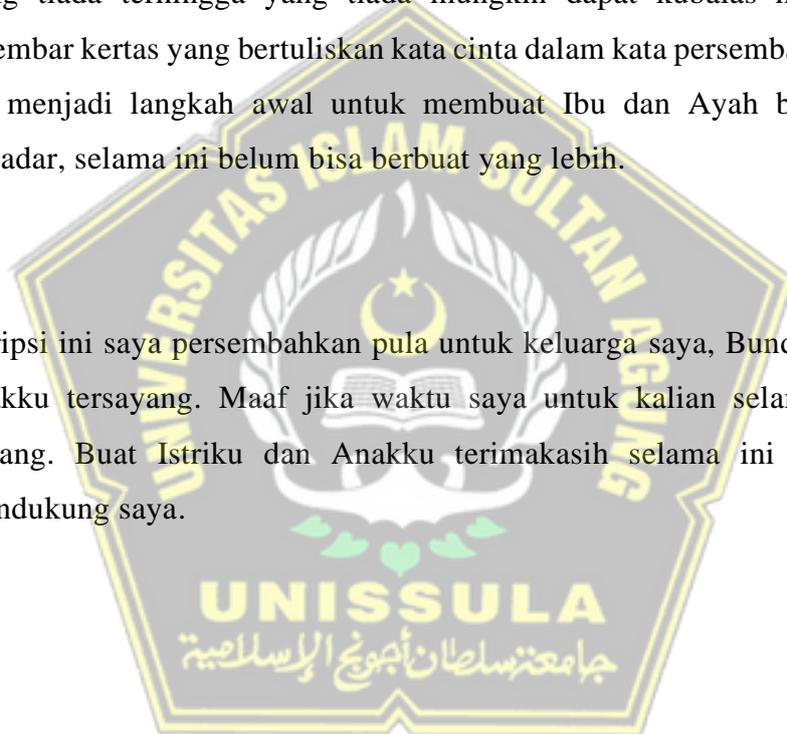

( Heryogka Ahmad Waritza )

NIM. 30601501786

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur yang sangat mendalam, dengan telah diselesaikannya Skripsi ini Penulis mempersembahkannya kepada:

1. Ibunda dan Ayahanda Tercinta Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih yang tiada terhingga kupersembahkan karya kecil ini kepada Ibu dan Ayah yang telah memberikan kasih sayang, segala dukungan, dan cinta kasih yang tiada terhingga yang tiada mungkin dapat kubalas hanya dengan selembar kertas yang bertuliskan kata cinta dalam kata persembahan. Semoga ini menjadi langkah awal untuk membuat Ibu dan Ayah bahagia karna kusadar, selama ini belum bisa berbuat yang lebih.
2. Skripsi ini saya persembahkan pula untuk keluarga saya, Bunda dan Alesha anakku tersayang. Maaf jika waktu saya untuk kalian selama ini terasa kurang. Buat Istriku dan Anakku terimakasih selama ini sudah selalu mendukung saya.



## MOTTO

“Hatiku tenang karena mengetahui bahwa apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirku, dan apa yang ditakdirkan untukmu tidak akan pernah melewatkanmu”

**(Umar bin Khattab)**

“Janganlah dukunganku, hingga membutakan hati, terhadap realita dan dinamika karena intelektualitas itu karunia dan setiap karunia kelak akan hisabnya”

**(Heru Pamungkas, SH., MAP.)**

“Jangan mengabaikan ayat, apalagi meremehkan dan atau menggampangkan tanpa ilmu, nanti bukan hanya merugi tapi celaka di Neraka, menyesal tiada lagi berguna, mumpung masih ada waktu Taubat lah, sudahlah dunia tidak lama”

**(Heru Pamungkas, SH., MAP.)**



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL (Bahasa Indonesia).....	i
HALAMAN JUDUL (Bahasa Inggris).....	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	v
MOTTO .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
ABSTRAK.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
BAB I .....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1    Latar Belakang.....	1
1.2    Perumusan Masalah .....	3
1.3    Pembatasan Masalah .....	3
1.4    Tujuan.....	4
1.5    Manfaat .....	4
1.6.    Sistematika Penulisan.....	4
BAB II .....	6
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	6

2.1	Tinjauan Pustaka .....	6
2.2	Landasan Teori .....	8
2.2.1	Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	8
2.2.2	Jenis Saluran Distribusi.....	10
2.2.3	Struktur Jaringan Distribusi.....	12
2.2.4	Topologi Saluran Distribusi .....	14
2.2.5	Tegangan Operasi Jaringan Distribusi .....	18
2.3	Sistem Distribusi di Jawa Tengah .....	19
2.4	Sistem Proteksi Distribusi Tenaga Listrik.....	19
2.4.1	Recloser.....	20
BAB III	.....	34
METODOLOGI PENELITIAN	.....	34
3.1	Lokasi Penelitian.....	34
3.2	Sumber Data.....	34
3.2.1	Data Primer.....	35
3.2.2	Data Sekunder.....	35
3.3	Teknik Pengumpulan Data.....	35
3.3.1	Alat Tulis.....	36
3.3.2	Laptop .....	36
3.3.3	Software Matlab.....	36
3.4	Analisa Sistem.....	36
3.4.1	Jumlah Pelanggan pada Load Point (LP) .....	37

3.4.2 Single Line Diagram (SLD) Penyulang RDT03 .....	39
3.4.3 Laju Kegagalan ( $\lambda$ ) dan Down Time (r) .....	39
3.4.4 Alur Penelitian .....	43
BAB IV .....	46
DATA DAN ANALISA .....	46
4.1 Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang RDT03 .....	46
4.1.1 Laju Kegagalan dan <i>Unavailability</i> Main Feeder RDT03 .....	46
4.1.2 Laju Kegagalan dan <i>Unavailability</i> Lateral Feeder RDT03 .....	47
4.1.3 Indeks Keandalan Eksisting Penyulang RDT03 .....	59
4.2 Optimalisasi Lokasi Recloser dengan Particle Swarm Optimization .....	61
4.3 Analisis hasil optimalisasi .....	62
.....	63
BAB V .....	64
PENUTUP .....	64
5.1 Kesimpulan .....	64
5.2 Saran .....	64
DAFTAR PUSTAKA .....	65
LAMPIRAN .....	67

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1: Data Laju Kegagalan ( $\lambda$ ), dan Waktu Keluar Komponen (r).....	25
Tabel 3. 1 Jumlah Pelanggan Setiap Load Point.....	37
Tabel 3. 2 : Standart Laju Kegagalan dan Waktu Perbaikan Komponen.....	39
Tabel 4. 1: Load Point Penyulang RDT03.....	46
Tabel 4. 2: Nilai Laju Kegagalan ( $\lambda$ ) dan Ketidaksediaan Komponen (U).....	47
Tabel 4. 3: Jumlah Node Lateral di RDT03 .....	48
Tabel 4. 4: Indeks Keandalan.....	49
Tabel 4. 5 : Nilai Laju Kegagalan dan Unavailability .....	49
Tabel 4. 6: Indeks SAIFI dan SAIDI .....	50
Tabel 4. 7: Nilai Failure Rate dan Repair Rate Section 19 .....	51
Tabel 4. 8: Laju Kegagalan dan Unavailability Section 19 .....	53
Tabel 4. 9: Laju Kegagalan dan Unavailability Section 20 .....	54
Tabel 4. 10: Indeks Laju Kegagalan dan Unavailability Section 20.....	55
Tabel 4. 11: Hasil Perhitungan GDL05 – GDL08, FCO04, FCO08, dan L4 – L9	56
Tabel 4. 12: Hasil Perhitungan $\lambda$ , U dan r.....	58
Tabel 4. 13: Hasil Perhitungan SAIFI dan SAIDI Section 18-34.....	59
Tabel 4. 14: Indeks Keandalan Eksisting Penyulang RDT03 .....	60
Tabel 4. 15: Indeks Keandalan Syatem Section 1 - 17 .....	60

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1: Diagram SLD Sistem Tenaga Listrik.....	9
Gambar 2. 2 Skema Jaringan Distribusi (Short, T.A., 2004, CRC Press) .....	13
Gambar 2. 3. Topologi Radial.....	14
Gambar 2. 4 Topologi Loop.....	16
Gambar 2. 5 Topologi Spindle .....	17
Gambar 2. 6 Topologi Cluster.....	17
Gambar 2. 7: Konstruksi Recloser Schneider N-Series .....	21
Gambar 2. 8: Bagian-bagian dalam dari <i>Recloser</i> Schneider .....	21
Gambar 2. 9: Konstruksi Recloser pada Jaringan Distribusi Udara.....	22
Gambar 2. 10 : Konstruksi Recloser Pada Jaringan Udara .....	23
Gambar 2. 11: Skema PSO.....	31
Gambar 3. 1: SLD Penyulang RDT03.....	39
Gambar 3. 2: Komponen Seri dan Paralel.....	40
Gambar 3. 3: Diagram Alur Penelitian .....	43
Gambar 4. 1: Node Serial dengan Satu Trafo .....	48
Gambar 4. 2: Dua Trafo Terpasang Secara Serial.....	51
Gambar 4. 3: Lima Trafo Terpasang secara Seri-Pararel.....	54

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1:	Load Line Feeder RDT03	66
Lampiran 2:	Jumlah Node Lateral di RDT03	67
Lampiran 3:	Matlab Coding	68

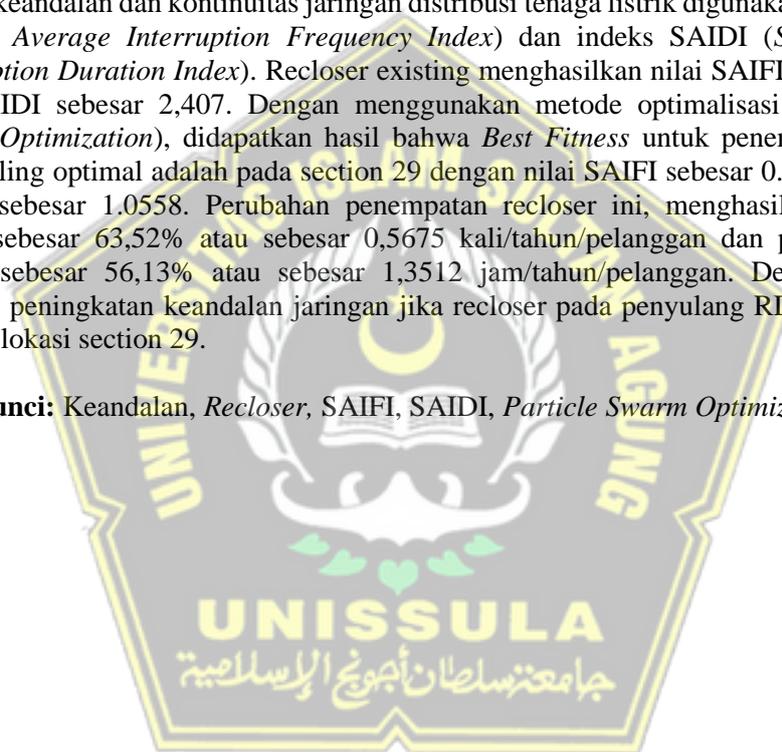


## ABSTRAK

Heryogka Ahmad Waritza. 2022. Optimalisasi Penempatan Recloser Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang RDT03 Menggunakan Algoritma Optimasi Particle Swarm Optimization untuk Menekan SAIDI dan SAIFI di Kawasan Industri Tambak Aji.

Keandalan suatu sistem jaringan distribusi tenaga listrik merupakan hal yang sangat penting untuk menjamin mutu pelayanan yang baik bagi konsumen. Fokus dari penelitian ini adalah untuk mencari desain koordinasi proteksi, topologi dan skema operasi yang optimal untuk penyulang RDT03 di Kawasan Industri Tambak Aji. Untuk menunjukkan tingkat keandalan dan kontinuitas jaringan distribusi tenaga listrik digunakan indeks SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan indeks SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*). Recloser existing menghasilkan nilai SAIFI sebesar 0,8933 dan SAIDI sebesar 2,407. Dengan menggunakan metode optimalisasi PSO (*Particle Swarm Optimization*), didapatkan hasil bahwa *Best Fitness* untuk penempatan recloser yang paling optimal adalah pada section 29 dengan nilai SAIFI sebesar 0.32575 dan nilai SAIDI sebesar 1.0558. Perubahan penempatan recloser ini, menghasilkan penurunan SAIFI sebesar 63,52% atau sebesar 0,5675 kali/tahun/pelanggan dan penurunan nilai SAIDI sebesar 56,13% atau sebesar 1,3512 jam/tahun/pelanggan. Dengan demikian terdapat peningkatan keandalan jaringan jika recloser pada penyulang RDT03 direlokasi menuju lokasi section 29.

**Kata kunci:** Keandalan, *Recloser*, SAIFI, SAIDI, *Particle Swarm Optimization*



## ABSTRACT

Heryogka Ahmad Waritza. 2022. Optimization of Recloser Placement of 20 kV Distribution Network RDT03 Suppliers Using Particle Swarm Optimization Algorhythm to Suppress SAIDI And SAIFI In Tambak Aji Industrial Park.

The reliability of an electric power distribution network system is very important to ensure a good quality of service for consumers. The focus of this study is to find the optimal protection coordination design, topology and operating scheme for RDT03 refiners in the Tambak Aji Industrial Estate. To show the level of reliability and continuity of the electric power distribution network, the SAIFI index (System Average Interruption Frequency Index) and the SAIDI index (System Average Interruption Duration Index) are used. The existing recloser resulted in a SAIFI value of 0.8933 and a SAIDI of 2.407. Using the PSO (Particle Swarm Optimization) optimization method, the results were obtained that the Best Fitness for the most optimal recloser placement was in section 29 with a SAIFI value of 0.32575 and a SAIDI value of 1.0558. This change in recloser placement resulted in a decrease in SAIFI by 36% or by 0.5675 times / year / customer and a decrease in the value of SAIDI by 43.61% or by 1.3649 hours / year / customer. Thus there is an increase in network reliability if the recloser at the RDT03 feeder is relocated to the location of section 29.

**Keywords:** Realiability, Recloser, SAIFI, SAIDI, Particle Swarm Optimization



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Tingkat keandalan dari suatu sistem pasokan tenaga listrik merupakan hal yang sangat krusial karena berkaitan dengan kontinuitas penyaluran tenaga listrik ke pelanggan (konsumen). Yang dimaksud dengan keandalan dari suatu sistem pasokan tenaga listrik adalah suatu kemampuan sistem untuk memberikan pasokan tenaga listrik yang cukup dengan kualitas yang baik. Adapun faktor yang sangat mempengaruhi kualitas energi listrik yang digunakan adalah kestabilan tegangan, frekuensi, kontinuitas pelayanan dan faktor daya (Senen et al, 2019). Dari beberapa faktor diatas, kontinuitas pelayanan energi listrik merupakan masalah utama yang paling banyak dikeluhkan oleh pelanggan akibat terlalu seringnya terjadi pemadaman listrik dalam waktu yang lama, sehingga berdampak pada baik pelanggan listrik besar maupun kecil. Oleh karenanya, keandalan saluran jaringan distribusi harus dijaga dengan cara menghindari atau meminimalisasi gangguan-gangguan yang menyebabkan pemadaman listrik. Dengan semakin bertambahnya kebutuhan tenaga listrik, maka keandalan dalam penyediaan dan penyaluran daya pada suatu jaringan distribusi tenaga listrik sangat diperlukan.

Untuk menunjukkan tingkat keandalan dan kontinuitas jaringan distribusi tenaga listrik dapat digunakan indeks SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan indeks SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*). SAIFI merupakan parameter yang menunjukkan seberapa sering gangguan yang terjadi di tiap pelanggan dalam waktu setahun, sedangkan SAIDI menunjukkan rata-rata waktu gangguan tiap pelanggan (Fahrulrozi, 2019: 79). Sebagai salah satu Badan Usaha Milik Negara, PT. PLN (Persero) yang memiliki visi untuk menjadi perusahaan listrik terkemuka di Asia Tenggara, maka pemenuhan Standar World Class Service (WCS) menjadi hal yang sangat penting. Standar WCS menuntut agar indeks SAIFI maksimal adalah 3 kali/pelanggan/tahun dan SAIDI sebesar 2,5 jam/pelanggan/tahun.

Salah satu kawasan industri produktif di wilayah PLN (Persero) ULP Semarang Barat adalah Kawasan Industri Tambak Aji (KTA) yang disuplai dengan penyulang RDT03. Jika dilihat dari profil pembebanannya, penyulang RDT03 merupakan salah satu penyulang yang memiliki beban rata-rata cukup tinggi diatas 270A. Hal ini mengindikasikan bahwa Kawasan Industri Tambak Aji merupakan Kawasan yang sangat produktif. Namun hal ini tidak dibarengi dengan kinerja SAIDI SAIFI yang baik. Gangguan Penyulang/PMT masih sangat tinggi jika dibandingkan dengan penyulang lain. Sedangkan secara topologi, Penyulang RDT03 memiliki panjang hantaran yang cukup pendek dan berada dekat dengan Gardu Induk Randugarut.

Salah satu cara untuk meningkatkan keandalan sistem adalah dengan penempatan, penambahan, atau relokasi dari peralatan fuse-recloser atau sectionalizer yang optimal (Fahrulrozi et al, 2019:78). Pada tahun 2017, di Kawasan Industri Tambak Aji telah dipasang sebuah recloser pada penyulang RDT03 untuk membagi zona penyulang menjadi 3 yaitu zona 1 (PMT), zona 2 (recloser) dan zona 3 (LBS Non-Sectionalizer) untuk memperbaiki indeks SAIFI, SAIDI dan penekanan ENS (Energy Not Served) saat terjadi gangguan pada zona setelah recloser. Namun demikian, penempatan recloser ini tidak didasari pada nilai optimum SAIDI SAIFI, melainkan didasarkan pada optimalisasi proteksi terhadap zona 1 (PMT) dimana recloser ditempatkan sedemikian sehingga zona 1 (PMT) dapat terlindungi dengan maksimal sehingga memperkecil kemungkinan gangguan pada Kawasan tersebut.

Sejak pemasangannya, recloser belum mampu memberikan perbaikan kinerja yang berarti pada SAIDI SAIFI dan pelayanan di Kawasan Industri Tambak Aji. Hal ini terlihat dari hasil evaluasi terhadap indeks kinerja SAIDI SAIFI penyulang di PLN ULP Semarang Barat tidak terlalu banyak mengalami perubahan yang cukup signifikan. Recloser yang telah terpasang ini melekat pada section 25 jika ditentukan dengan menggunakan *single line diagram* dan menghasilkan nilai SAIFI sebesar 0,8933 dan SAIDI sebesar 2,407.

Perbaikan indeks keandalan jaringan dapat dilakukan dengan mengoptimalkan penempatan lokasi recloser pada jaringan distribusi. Penentuan titik lokasi

pemasangan recloser harus didasarkan pada lokasi optimum dimana nilai indeks SAIDI dan SAIFI penyulang menjadi paling kecil. Berbagai metode dan pendekatan dapat dilakukan untuk menyelesaikan masalah optimasi indeks SAIDI SAIFI seperti metode Section Technique, Algoritma Genetika, Simplex Method, Fuzzy Logic, Artificial Bee Colony Algorithms dan Particle Swarm Optimization.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan pengamatan yang telah dilakukan, maka dapat diurutkan permasalahan yang dihadapi antara lain:

- a. Bagaimana menentukan lokasi penempatan recloser yang tepat sehingga peralatan proteksi lebih efektif dalam memproteksi jaringan dan mengoptimalkan SAIDI dan SAIFI dengan menggunakan metode Algoritma Optimasi Particle Swarm Optimization (PSO).
- b. Berapa nilai SAIDI dan SAIFI yang optimal untuk menentukan penempatan recloser yang tepat.
- c. Seberapa besar optimasi yang bisa diperoleh dalam penempatan recloser pada section yang didapatkan dengan Algoritma Optimasi PSO.

## 1.3 Pembatasan Masalah

Mengingat luas dan banyaknya hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini, maka penulis memberikan batasan masalah yaitu:

- a. Optimasi yang dilakukan berlaku untuk alat recloser saja, tidak untuk sectionalizer, atau peralatan pengaman lainnya
- b. Analisis yang dilakukan melingkupi sistem 20kV mulai dari PMT RDT03 sampai dengan ujung jaringan TM 20kV dan tidak memperhitungkan analisis jaringan TR.
- c. Indeks keandalan peralatan yang menjadi pertimbangan dalam perhitungan SAIFI dan SAIDI adalah indeks keandalan trafo distribusi, recloser, saluran udara tingkat menengah, dan saluran kabel tingkat menengah, saklar seperti LBS dan Cubicle 20kV

- d. Optimalisasi yang dilakukan bersifat experiment terbatas pada simulasi yang menggunakan perangkat lunak Ms. Excel dan Matlab

#### **1.4 Tujuan**

Maksud dan tujuan dari dibuatnya Tugas Akhir ini adalah

- a. Menentukan lokasi penempatan recloser yang tepat sehingga peralatan proteksi lebih efektif dalam memproteksi jaringan dan mengoptimalkan SAIDI dan SAIFI dengan menggunakan metode Algoritma Optimasi Particle Swarm Optimization (PSO).
- b. Menghitung indeks SAIDI SAIFI penyulang RDT03 sebelum dan sesudah dilakukannya optimalisasi penempatan recloser jaringan.
- c. Mengevaluasi usaha optimalisasi yang dilakukan terhadap kinerja SAIDI SAIFI penyulang RDT03

#### **1.5 Manfaat**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah memberikan masukan kepada pihak PT. PLN (Persero) khususnya distribusi pelayanan tenaga listrik di Kawasan Industri Tambak Aji Semarang terkait dengan penentuan lokasi penempatan recloser yang tepat sehingga peralatan proteksi lebih efektif dalam memproteksi jaringan dan mengoptimalkan SAIDI dan SAIFI.

#### **1.6. Sistematika Penulisan**

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir, penulis membagi bahasan kedalam bab dan sub-bab yang dijelaskan pada bagian berikut:

##### **Bab I. Pendahuluan**

Bab ini membahas latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan dan manfaat serta sistematika penulisan Tugas Akhir.

##### **Bab II. Landasan Teori**

Pada bab ini dijelaskan dasar teori yang mendukung penelitian ini mulai dari kajian terhadap hasil penelitian sebelumnya, sistem tenaga listrik, sistem distribusi tenaga listrik beserta klasifikasi, peralatan utama, dan gangguan dalam sistem distribusi. Kemudian dijelaskan pula mengenai keandalan sistem distribusi beserta indeks keandalannya, pemodelan jaringan sistem distribusi, metode, dan Particle Swarm Optimization (PSO)

### Bab III. Metodologi Penulisan

Bab ini membahas tentang lokasi penelitian, sumber data, teknik pengumpulan data dan analisis data hasil pengamatan.

### Bab IV. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pada bab ini dipaparkan hasil simulasi dan penjelasan mengenai analisa hasil optimasi lokasi recloser yang paling optimal dibandingkan sebelum dilakukan optimasi, serta pengaruh jumlah recloser yang dipasang terhadap nilai indeks keandalan sistem distribusi Penyulang RDT03. Adapun sub-judulnya adalah sebagai berikut:

- Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang RDT03
- Optimalisasi Lokasi Recloser dengan Particle Swarm Optimization
- Analisis Hasil Optimalisasi

### Bab V. Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil analisis dan saran.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Keandalan sistem jaringan distribusi tenaga listrik merupakan unjuk kerja suatu sistem tenaga listrik yang mampu beroperasi secara berkelanjutan baik saat terjadi gangguan maupun saat pola operasi normal dengan mutu pelayanan yang baik. Salah satu cara untuk meningkatkan keandalan listrik pada suatu penyulang adalah dengan meminimalisir gangguan yang dapat menyebabkan pemadaman listrik pada suatu penyulang. Semakin tinggi kebutuhan energi listrik akan membuat penyedia layanan listrik berusaha meningkatkan sistem keandalan sistem tenaga listrik, pelayanan dan kontinuitas penyaluran tenaga listrik yang maksimal. Beberapa penelitian terkait dengan keandalan sistem jaringan tenaga listrik diantaranya dilakukan oleh Senen dkk (2019). Hasil penelitian mereka terkait keandalan sistem distribusi tenaga listrik menggunakan metode SAIDI dan SAIFI didasarkan atas durasi atau lamanya pemadaman dan berapa kali jumlah pemadaman dalam kurun waktu tertentu. Hasil perhitungan indeks keandalan secara keseluruhan menggunakan Aplikasi Matlab R2008a didapatkan nilai SAIDI sebesar 0,00005 jam per pelanggan per tahun dan telah sesuai dengan standar PLN yaitu 21 jam/tahun. Untuk nilai SAIFI yang dihitung berada diangka 0,0081 kali per pelanggan per tahun juga telah sesuai dengan standar PLN yaitu 3,2 kali/tahun. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kegagalan yang sering terjadi diakibatkan oleh kegagalan non-teknis dan juga secara teknis seperti gangguan pohon, gangguan hewan dan juga gangguan system, sehingga sering terjadi terputusnya kabel saluran, baik itu JTR, kabel sekunder/primer maupun kabel SR, dan juga kerusakan Trafo.

Penelitian yang sedikit berbeda dilakukan oleh Fahrulrozi dkk (2019), yang menganalisis tentang peningkatan peralatan keandalan sistem tenaga listrik dalam hal ini *fuse-recloser* dengan melakukan injeksi *hybrid* pembangkit listrik tersebar yaitu *Wind Energy Power* (WEP) dan *Solar Energy Power* (SEP). Metode yang

digunakan untuk meningkatkan indeks keandalan jaringan sistem distribusi adalah metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) dan metode *Section Technique* (ST). Hasil kajiannya menunjukkan bahwa metode PSO telah berhasil menemukan relokasi optimal *fuse-recloser* sehingga dapat meningkatkan keandalan sistem distribusi yang dapat menurunkan nilai indeks keandalan SAIFI dan SAIDI sebesar 0,014 % dibandingkan dengan menggunakan metode *section technique*. Pada tahun 2020, Putra dkk melakukan penelitian guna merancang penempatan *recloser* yang tepat menggunakan metode *Quantum Genetic Algorithm* (QGA) yang merupakan algoritma evolusioner berdasarkan konsep quantum bit (*qubit*). Tujuan dari metode ini adalah meminimumkan nilai SAIDI dan SAIFI sehingga didapatkan indeks keandalan yang lebih kecil dan memenuhi standar sehingga diperoleh lokasi *recloser* optimum. Dengan menggunakan metode QGA, hasilnya juga sudah memenuhi standar *World Class Company* dan *World Class Service* dengan SAIFI 3 (kali/Pelanggan/tahun) dan SAIDI 1,66 (jam/Pelanggan/tahun). Dengan pemasangan *recloser* pada suatu jaringan sistem tenaga listrik maka, jika terjadi suatu gangguan akan dapat ditanggulangi dalam waktu yang singkat dan dapat memisahkan daerah atau jaringan yang sedang mengalami gangguan secara cepat, sehingga dapat memperkecil area terjadinya gangguan.

Sementara Amirudin (2020) melakukan studi perbandingan jumlah energi yang tidak tersalurkan akibat gangguan sistem pada penyulang yang memiliki auto-recloser dengan penyulang yang tidak memiliki auto-recloser. Hasilnya adalah total daya yang tidak tersalur diakibatkan oleh gangguan pada feeder yang memakai auto recloser yaitu 58 kali gangguan dengan jumlah waktu pemutusan atau pemadaman 0,94 jam. rata-rata beban feeder yang tidak menggunakan auto recloser adalah 63 Ampere, sedangkan jumlah daya yang tidak tersalur karena akibat gangguan pada feeder yang menggunakan tidak menggunakan auto recloser yaitu 146 kali gangguan dengan jumlah waktu pemadaman 2,45 jam. Total durasi atau lama waktu pemadaman diakibatkan oleh gangguan pada feeder tanpa auto recloser jauh lebih banyak dibanding dengan feeder yang dilengkapi dengan auto recloser, sedang jumlah gangguan yang terjadi justru lebih banyak pada feeder yang menggunakan auto recloser. Dengan metode deskriptif analitik, Khairul dkk (2022)

membandingkan nilai indeks keandalan SAIDI (System Average Interruption Duration Index) dan SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) dengan SPLN 682:1986. Tingkat keandalan sistem jaringan distribusi 20 kV dihitung dengan menggunakan SAIDI dan SAIFI serta mengkonversikan ENS (*Energy Not Supplied*) atau energi yang tak tersalurkan ke Rupiah untuk mengetahui besar kerugian yang ditimbulkan akibat gangguan dan pemeliharaan.

Dari hasil studi literatur menunjukkan bahwa usaha dalam meningkatkan kinerja sistem proteksi jaringan dapat dilakukan dengan banyak pendekatan dan bergantung pada kondisi geografis, topologi jaringan, besar beban dan panjang jaringan distribusi. Beberapa peneliti berfokus pada perbandingan jumlah durasi gangguan dan energi yang terbuang pada penyulang yang memiliki auto-recloser dan yang tidak memiliki auto-recloser, sedangkan peneliti yang lain berfokus pada penempatan lokasi recloser yang optimal pada jaringan tenaga listrik di penyulang. Pada penelitian ini, peneliti akan berfokus pada studi optimalisasi penempatan *recloser* jaringan dan parameter *setting recloser* serta perubahan topologi jaringan distribusi pada penyulang RDT03 untuk mencari desain koordinasi proteksi, topologi dan skema operasi yang optimal untuk penyulang RDT03 di Kawasan Industri Tambak Aji.

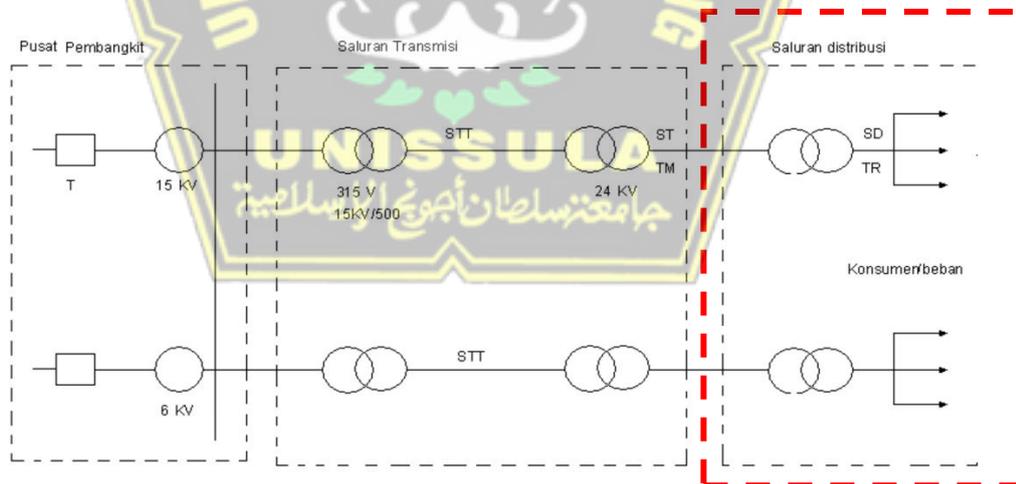
## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan distribusi tenaga listrik adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan pelanggan. Sistem ini terdiri dari sistem distribusi tegangan menengah dan sistem distribusi tegangan rendah. Sistem distribusi tenaga listrik didefinisikan sebagai bagian dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan Pusat Pembangkit Tenaga Listrik, Transmisi Tenaga Listrik dan Gardu Induk dengan konsumen. Jaringan distribusi ini sendiri berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik langsung kepada konsumen sesuai dengan kebutuhan. Gardu induk distribusi ada yang berada di ujung saluran transmisi, yang berfungsi mengatur distribusi daya yang diterima dari saluran transmisi sekaligus menurunkan tegangan

dari level saluran transmisi ke level jaringan distribusi. Gardu induk juga ada yang berada di antara jaringan distribusi yang berfungsi untuk membagi aliran daya dan menurunkan tegangan distribusi ke tegangan rendah (Suripto, 2016).

Terdapat 2 (dua) sistem distribusi yaitu distribusi primer dan distribusi sekunder. Distribusi primer, penyalurannya dimulai dari gardu induk (sisi sekunder trafo daya) ke gardu distribusi (sisi primer trafo distribusi) atau dari gardu induk langsung ke konsumen tegangan menengah 20 kV, dimana tegangan tinggi terlebih dahulu diturunkan menjadi tegangan menengah sebesar 20 kV melalui transformator step down. Distribusi sekunder, penyalurannya dimulai dari gardu distribusi (sisi sekunder trafo distribusi) ke konsumen tegangan rendah. Energi tenaga listrik disalurkan melalui penyulang-penyulang yang berupa saluran udara ataupun saluran kabel bawah tanah. Penyulang distribusi terletak di gardu distribusi. Fungsi gardu distribusi untuk menurunkan tegangan distribusi primer menjadi tegangan rendah atau tegangan distribusi sekunder sebesar 220/380 V. Konsumen tenaga listrik disambung dari Jaringan Tegangan Rendah (JTR) melalui Saluran Rumah (SR).



Sumber: Badruddin; Sistem Distribusi; Pusat Pengembangan Bahan Ajar - UMB

Gambar 2. 1: Diagram SLD Sistem Tenaga Listrik

### 2.2.2 Jenis Saluran Distribusi

Berdasarkan sistem penyaluran, jaringan distribusi dapat diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu saluran udara (*overhead line*) dan saluran bawah tanah (*underground line*). Saluran udara merupakan sistem penyaluran tenaga listrik melalui kawat penghantar yang ditopang pada tiang listrik. Sedangkan saluran bawah tanah merupakan sistem penyaluran tenaga listrik melalui kabel-kabel yang ditanamkan di dalam tanah.

#### a. Saluran udara (*overhead line*)

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

##### i. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

SUTM merupakan jenis saluran distribusi tegangan menengah yang paling banyak digunakan oleh PLN karena biaya investasinya yang paling murah dan konstruksi yang sederhana. Jenis konduktor yang digunakan pada SUTM pada umumnya adalah AAAC (*All-Aluminium Alloy Conductor*), AAAC-S (*All-Aluminium Alloy Conductor – Sheated*) dan ACSR (*Aluminium conductor steel-reinforced*). Ukuran penghantar yang digunakan antara lain mulai dari 25mm<sup>2</sup>, 35mm<sup>2</sup>, 70mm<sup>2</sup>, 95mm<sup>2</sup>, 150mm<sup>2</sup>, dan 240mm<sup>2</sup>.

##### ii. Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)

SKUTM merupakan jenis saluran distribusi tegangan menengah yang menggunakan media konduktor berisolasi penuh sebagai media penghantar. Bahan isolasi yang digunakan adalah XLPE dengan lapisan polimer dan semikonduktor. Pada umumnya SKUTM digunakan untuk jaringan yang melayani pelanggan khusus atau penyulang dengan beban yang berada diujung jaringan

(*Express Feeder*). SKUTM juga digunakan pada wilayah yang memiliki kepadatan vegetasi yang tinggi seperti hutan dan perkebunan. Jenis penghantar yang digunakan adalah MVTIC (*Medium Voltage Twisted Insulated Conductor*). Ukuran penghantar yang tersedia untuk media ini antara lain 70mm<sup>2</sup>, 150mm<sup>2</sup> dan 240mm<sup>2</sup>.

Penggunaan saluran udara mempunyai beberapa keuntungan, meliputi lebih mudah dalam pemasangan, lebih fleksibel dan leluasa apabila akan diadakan perluasan beban, serta mudah dalam proses pengatasaan dan pendeteksian bila terjadi gangguan hubung singkat. Saluran udara mempunyai beberapa kekurangan meliputi mudah terpengaruh oleh kondisi atmosfer maupun kemungkinan tertimpa pohon, sukar untuk menempatkan saluran udara di wilayah yang penuh dengan bangunan tinggi, tegangan drop lebih tinggi akibat efek kulit, induktansi dan kapasitansi, serta biaya pemeliharaan lebih mahal karena perlu jadwal pengecatan dan penggantian material listrik bila terjadi kerusakan.

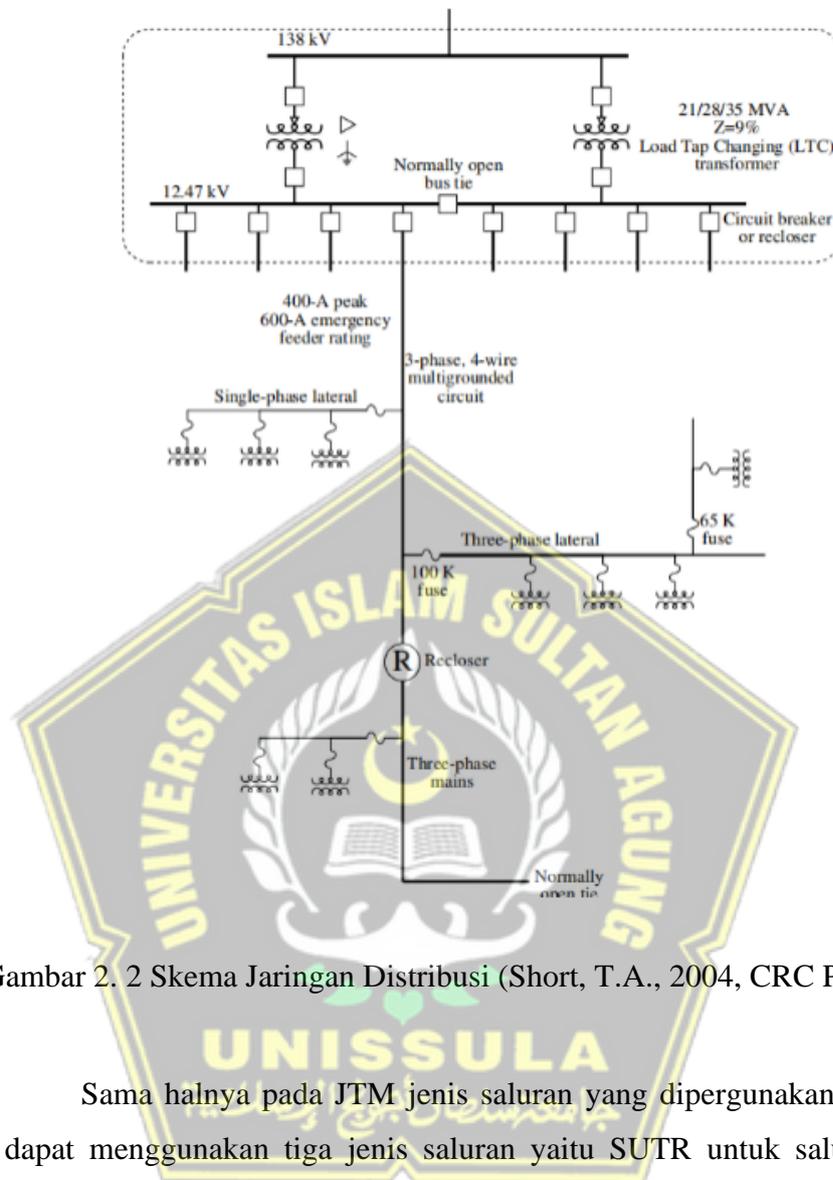
b. Saluran bawah tanah (*underground*)

Saluran bawah tanah adalah sistem penyaluran tenaga listrik menggunakan kabel tanah (*ground cable*) yang dipasang di dalam tanah. Jenis konduktor yang digunakan untuk saluran bawah tanah adalah kabel dengan beberapa lapisan XLPE dan pelindung berupa armor yang dinamakan NA2XFYGBY. Ukuran yang lazim digunakan adalah 70mm<sup>2</sup>, 240mm<sup>2</sup> dan 300mm<sup>2</sup>. Saluran bawah tanah mempunyai beberapa keuntungan seperti tidak terpengaruh oleh kondisi atmosfer maupun kemungkinan tertimpa pohon, tidak mengganggu pandangan, lebih sempurna dan lebih indah dipandang, mempunyai batas umur pakai dua kali lipat dari saluran udara, tegangan drop lebih rendah dibandingkan saluran udara karena masalah induktansi bisa diabaikan, serta biaya pemeliharaan lebih murah karena

tidak perlu adanya pengecatan. Terdapat kekurangan dari penggunaan saluran bawah tanah yang meliputi biaya investasi pembangunan lebih mahal dibandingkan dengan saluran udara, usaha pencarian titik gangguan tidak mudah jika terjadi 10 gangguan hubung singkat, perlu pertimbangan-pertimbangan teknis yang lebih mendalam di dalam perencanaan, serta dapat terpengaruh bila terjadi bencana banjir, desakan akar pohon, dan ketidakstabilan tanah.

### 2.2.3 Struktur Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi primer yaitu jaringan tenaga listrik yang keluar dari GI baik itu berupa saluran udara (*overhead line*) atau saluran bawah tanah (*underground*) yang menggunakan standard tegangan menengah dikatakan sebagai Jaringan Tegangan Menengah yang sering disebut dengan singkatan JTM dan sekarang salurannya masing masing disebut SKTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kabel tanah, SKUTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kabel udara dan SUTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kawat terbuka. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dengan menggunakan trafo distribusi (step down transformer) menjadi tegangan rendah dengan tegangan standar 380/220 Volt. Tenaga listrik yang menggunakan standard tegangan rendah ini kemudian disalurkan melalui suatu jaringan yang disebut Jaringan Tegangan Rendah yang sering disebut dengan singkatan JTR.



Gambar 2. 2 Skema Jaringan Distribusi (Short, T.A., 2004, CRC Press)

Sama halnya pada JTM jenis saluran yang dipergunakan pada JTR dapat menggunakan tiga jenis saluran yaitu SUTR untuk saluran udara tegangan rendah dengan menggunakan saluran kawat terbuka SKUTR untuk saluran udara tegangan rendah dengan menggunakan saluran kabel udara yang dikenal dengan sebutan kabel twisted yang sering disebut dengan singkatan TIC singkatan dari Twisted Insulation Cable SKTR untuk saluran udara tegangan rendah dengan menggunakan saluran kabel tanah.

Tenaga listrik dari jaringan tegangan rendah ini untuk selanjutnya disalurkan ke rumah-rumah pelanggan (konsumen) melalui suatu sarana yang disebut Sambungan Pelayanan atau Sambungan Rumah yang dapat dipisahkan menjadi dalam 2 bagian yaitu Sambungan Luar Pelayanan dan

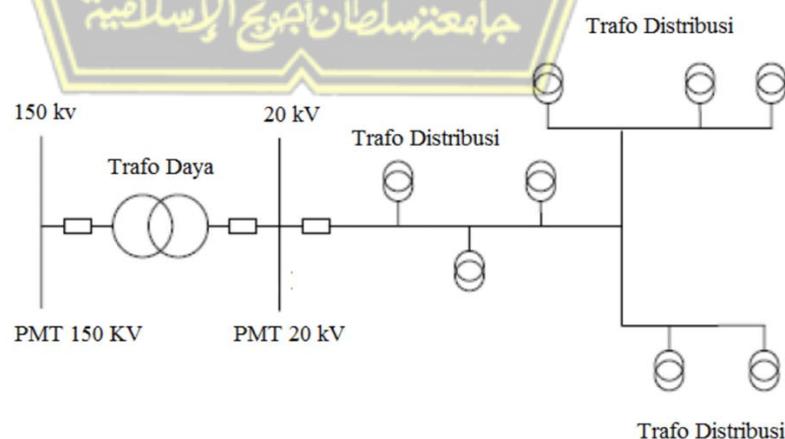
Sambungan Masuk Pelayanan. Dalam proses bisnis PLN pelanggan-pelanggan yang mempunyai daya tersambung besar aturannya tidak disambung melalui Jaringan Tegangan Rendah (JTR) melainkan disambung langsung pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan yang sangat besar disambung pada Jaringan Transmisi Tegangan Tinggi, tergantung besarnya daya tersambung.

#### 2.2.4 Topologi Saluran Distribusi

Menurut susunan rangkaiannya, sistem distribusi dapat dibedakan menjadi empat macam yaitu:

##### a. Jaringan distribusi radial

Bentuk jaringan distribusi radial seperti yang terlihat pada Gambar 2.3 merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak digunakan. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu, dan dicabang-cabang ke titik-titik beban yang dilayani. Satu daya berasal dari satu titik sumber. Arus beban yang mengalir sepanjang saluran menjadi tidak sama besar karena terdapat pencabangan-pencabangan ke titik-titik beban pada saluran.

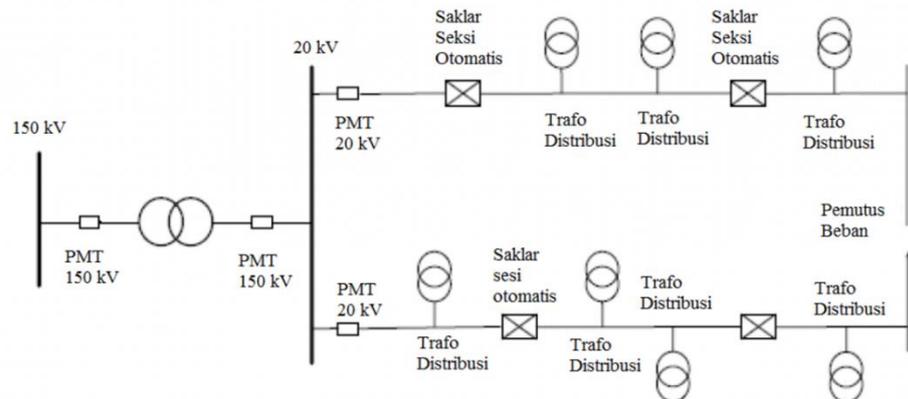


Gambar 2. 3. Topologi Radial

Oleh karena kerapatan arus beban yang tidak sama besar pada setiap titik sepanjang saluran maka ukuran luas penampang konduktor yang digunakan pada jaringan bentuk radial tidak harus sama. Saluran utama (dekat sumber) yang menanggung arus beban besar membutuhkan konduktor yang ukuran penampangnya relatif besar. Sedangkan saluran cabang yang dilalui arus beban yang lebih kecil hanya membutuhkan konduktor yang ukurannya lebih kecil. Kelebihan jaringan bentuk radial selain bentuknya yang sederhana juga biaya investasi yang relatif murah. Sedangkan kelemahan dari jaringan bentuk radial adalah kualitas pelayanan daya relatif jelek karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar. Kontinuitas pelayanan daya pun tidak terjamin, dikarenakan antara titik sumber dan titik beban hanya terdapat satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan, maka seluruh rangkaian sesudah titik gangguan akan mengalami “black out” secara total.

b. Jaringan distribusi loop

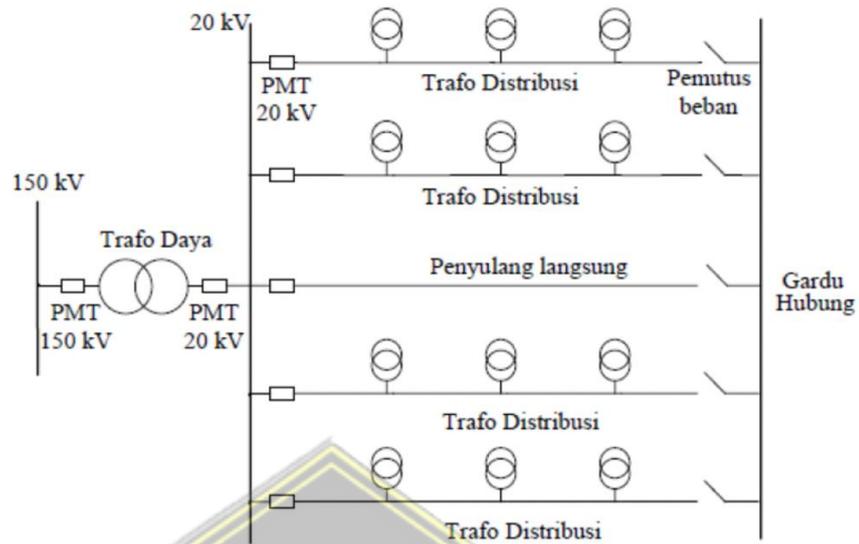
Tipe ini merupakan jaringan distribusi primer, gabungan dari dua tipe jaringan radial dimana ujung kedua jaringan dipasang PMT. Pada keadaan normal tipe ini bekerja secara radial dan pada saat terjadi gangguan PMT dapat dioperasikan sehingga gangguan dapat terlokalisir. Tipe ini lebih handal dalam penyaluran tenaga listrik dibandingkan tipe radial namun biaya investasi lebih mahal.



Gambar 2. 4 Topologi Loop

c. Topologi Spindle

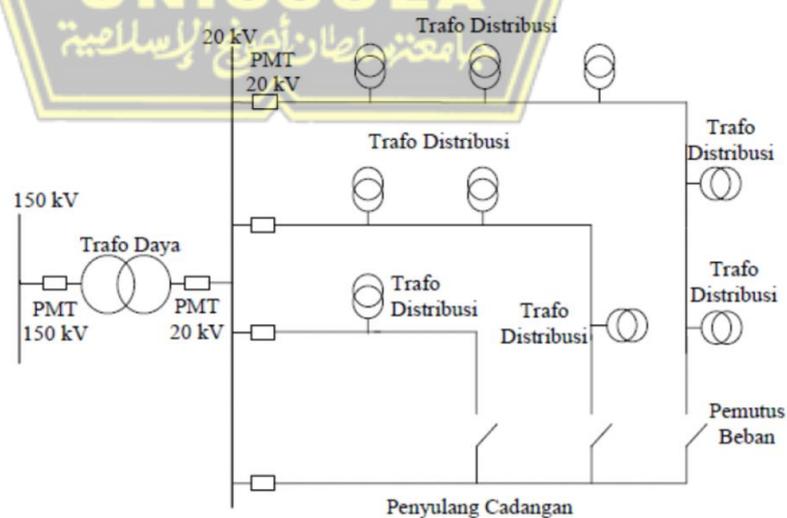
Sistem spindle menggunakan 2 jenis penyulang yaitu penyulang cadangan (standby atau express feeder) dan penyulang operasi (working feeder). Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai back-up supply jika terjadi gangguan pada penyulang operasi, sehingga sistem ini tergolong sistem yang handal. dalam pembangunannya. Sistem ini sudah memperhitungkan perkembangan beban atau penambahan jumlah konsumen sampai beberapa tahun ke depan, sehingga dapat digunakan dalam waktu yang cukup lama, hanya saja investasi pembangunannya juga lebih besar. proteksinya masih sederhana, mirip dengan sistem loop. pada bagian tengah penyulang biasanya dipasang gardu tengah yang berfungsi sebagai titik manufer ketika terjadi gangguan pada jaringan tersebut. Untuk konfigurasi 2 penyulang, maka faktor pembebanan hanya 50%. Berdasarkan konsep spindle jumlah penyulang pada 1 spindel adalah 6 penyulang operasi dan 1 penyulang cadangan sehingga faktor pembebanan konfigurasi spindel penuh adalah 85%. Ujung-ujung penyulang berakhir pada gardu yang disebut Gardu Hubungan dengan kondisi penyulang operasi “NO” (Normally Open), kecuali penyulang cadangan dengan kondisi “NC” (Normally Close).



Gambar 2. 5 Topologi Spindle

## d. Topologi Cluster

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



Gambar 2. 6 Topologi Cluster

### 2.2.5 Tegangan Operasi Jaringan Distribusi

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

#### a. Sistem Distribusi Primer

Sistem jaringan distribusi primer atau sering disebut jaringan distribusi tegangan menengah (JTM) terletak diantara gardu induk dengan gardu pembagi, yang memiliki tegangan sistem lebih tinggi dari tegangan terpakai untuk konsumen. Standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 6 kV, 11 kV, dan 20kV (sesuai standar PLN).

#### b. Sistem Distribusi Sekunder

Sistem jaringan distribusi sekunder atau sering disebut jaringan distribusi tegangan rendah (JDTR), merupakan jaringan yang berfungsi sebagai penyalur energi listrik dari gardu pembagi (gardu distribusi) ke pusat beban (konsumen tenaga listrik). Besarnya standar tegangan untuk jaringan distribusi sekunder ini adalah 127/220 V pada sistem lama, dan 220/380 V pada sistem baru untuk perumahan, serta 440/550 V untuk keperluan industri.

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

#### a. Jaringan Tegangan Menengah (JTM)

Merupakan Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) atau Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Sistem Distribusi ini menghubungkan trafo daya di gardu induk menuju gardu distribusi, berdasarkan tegangan yang disalurkan adalah 6 kV, 12 kV atau 20 kV.

#### b. Jaringan Tegangan Rendah (JTR)

Merupakan saluran kabel tegangan rendah yang salurannya biasa berupa SKTM/SUTM, yang menghubungkan gardu distribusi / trafo

distribusi ke konsumen. Tegangan kerja pada sistem yang dipergunakan adalah 220volt atau 380 volt.

### 2.3 Sistem Distribusi di Jawa Tengah

Sistem distribusi di Propinsi Jawa Tengah dan Yogyakarta memiliki system yang sedikit berbeda dengan sistem yang ada diseluruh Indonesia. Sistem Distribusi di Jawa Tengah menggunakan sistem tegangan 20kV fasa tiga 4 kawat dengan pentanahan netral secara langsung. Pola sistem distribusi ini di indentifikasi sebagai berikut:

- a. Tegangan Nominal: 20 kV Fasa – Fasa, 11,6 kV Fasa - Tanah
- b. Sistem Pentanahan: Netral ditanahkan sepanjang jaringan dan kawat netral dipakai bersama untuk saluran tegangan menengah dan saluran tegangan rendah dibawahnya. Impedansi pentanahan yang rendah dibawah 5 Ohm.
- c. Konstruksi Jaringan: Terdiri dari saluran udara terutama dan saluran kabel sedang saluran udara terdiri dari: saluran utama dan saluran cabang.
- d. Saluran Utama: kawat berukuran 240 dan 150 mm<sup>2</sup> fasa tiga – 4 kawat
- e. Saluran Cabang: kawat berukuran 150 dan 70 mm<sup>2</sup> fasa tiga – 4 kawat dan kawat AAC 70 dan 35 Fasa satu 2 kawat ( Fasa netral ) Cat : Penghantar dapat dipilih yang setara
- f. Penggunaan transformator distribusi 1 fasa 2 kutub dengan sistem Fasa – Netral.
- g. Penggunaan setting proteksi jaringan yang lebih sensitive dengan relay OCR dan GFR active.
- h. Adanya ketidakseimbangan beban pada penyulang dan PMT
- i. Sistem pelayanan: radial dengan kemungkinan saluran utama antara jaringan yang berdekatan dapat saling berhubungan dalam keadaan darurat
- j. Pelayanan Beban: Fasa tiga: 4 kawat 20 kV, Fasa tunggal : 2 kawat 11,6 kV

### 2.4 Sistem Proteksi Distribusi Tenaga Listrik

Pada umumnya sistem proteksi mempunyai pengertian suatu sistem yang dapat mengamankan peralatan terhadap gangguan, lalu melokalisir bagian-

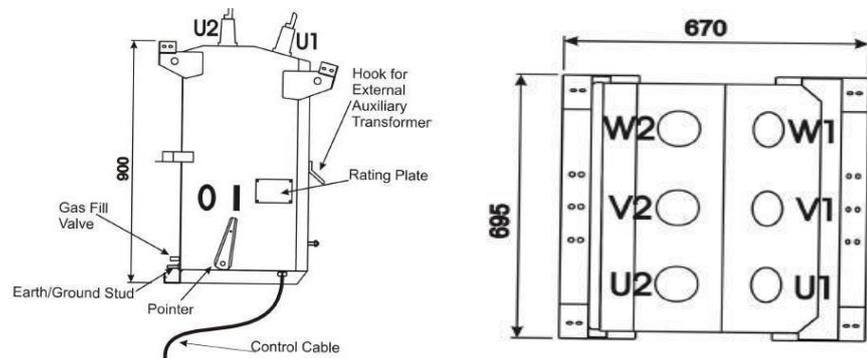
bagian yang terganggu sekecil mungkin, dan membatasi dampak maupun pengaruhnya terhadap sistem. Dengan mengisolir bagian yang terganggu dengan yang tidak terganggu maka stabilitas sistem penyaluran tenaga listrik dapat dipertahankan. Jaringan distribusi yang baik adalah jaringan yang memiliki peralatan yang cukup lengkap, salah satu yang paling penting adalah peralatan proteksi. Untuk Jaringan distribusi sistem saluran udara, peralatan proteksi dipasangkan diatas tiang-tiang listrik. Peralatan-peralatan proteksi tersebut antara lain: penutup balik otomatis (PBO) atau Recloser, Sectionalizer, LBS, Fusesaver, NT Fuse dll.

#### **2.4.1 Recloser**

Recloser adalah suatu komponen kelistrikan yang ada pada jaringan tegangan menengah yang secara fisik memiliki fungsi sebagai pemutus beban. Recloser hanya bekerja ketika suatu jaringan terjadi gangguan, kinerja recloser hampir sama dengan circuit breaker, hanya saja pada 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. Tetapi jika recloser yang digunakan diharapkan gangguan sementara tersebut membuat feeder terputus, maka recloser bekerja beberapa kali sampai akhirnya recloser membuka kembali secara otomatis

##### **a. Bagian-Bagian Recloser**

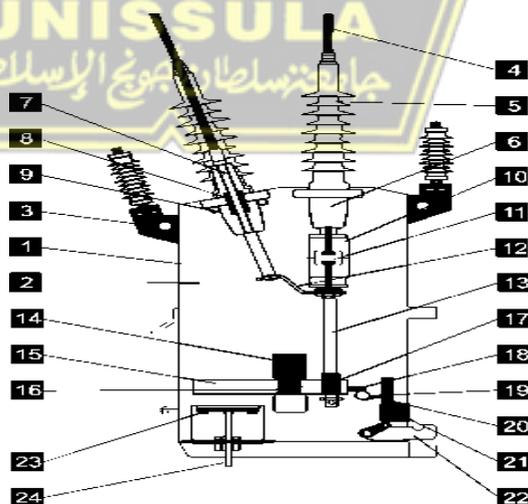
Ada banyak merk recloser yang digunakan PT PLN (Persero). Setiap merk memiliki konstruksi berbeda, namun pada intinya prinsip kerjanya adalah sama yaitu sebagai alat pengindra arus lebih. Bagian utama pada peralatan recloser adalah bushing, manual trip, arrester, ground stud, dan peredam. Untuk recloser Schneider tipe N-Series, peredam vacuum diisi oleh gas SF<sub>6</sub> (Sulphur Hexsflouride).



Gambar 2. 7: Konstruksi Recloser Schneider N-Series

(a) Tampak dari Luar (b) Tampak atas

Bagian atas dipasang bushing 6 buah dan arrester 6 buah (untuk Schneider tidak menyediakan arrester). Bushing diidentifikasi sebagai U1, V1, dan W1 pada sisi sumber. Sedangkan sisi satunya diidentifikasi dengan U2, V2, W2 sebagai sisi beban. Untuk pemasangan surja arrester, pada recloser Schneider tipe N- Series telah disediakan Surge Arrester Mounting Bracket yang berfungsi sebagai tempat pemasangan arrester dan dipasang baik pada sisi sumber maupun sisi bebannya. Arrester ini berfungsi sebagai proteksi terhadap tegangan lebih dari petir.



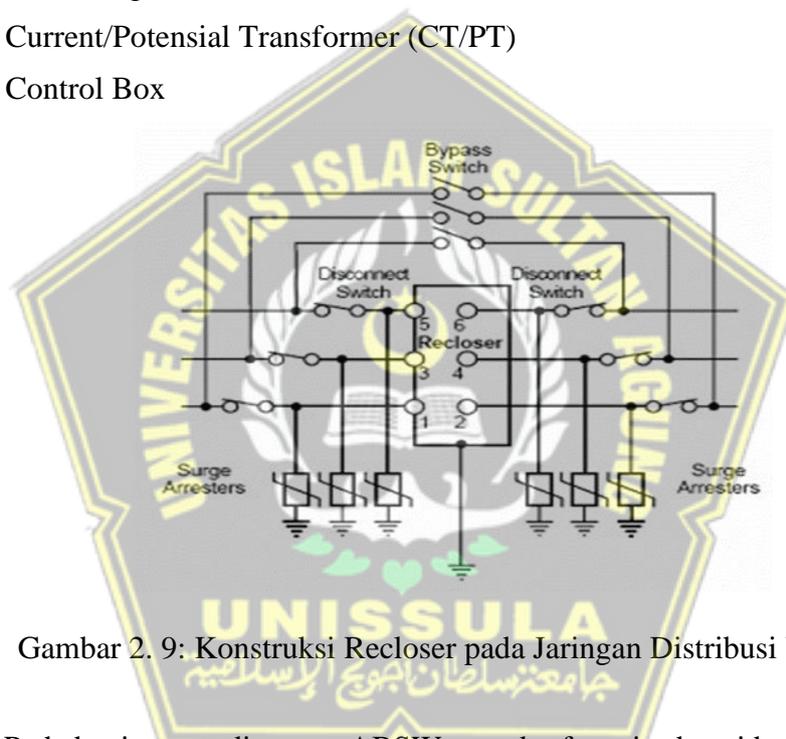
Gambar 2. 8: Bagian-bagian dalam dari Recloser Schneider

### b. Konstruksi Recloser pada Jaringan Distribusi Udara

Berdasarkan Buku Pedoman Standard Konstruksi Jaringan Distribusi Tahun 2008, pemasangan recloser 3 fasa tegangan 20 KV disertai dengan peralatan pendukung yang bertujuan agar recloser dapat bekerja secara handal dan mampu mem back-up kinerja recloser pada saat terjadi kerusakan pada recloser ataupun pada saat pemeliharaan recloser. Peralatan tersebut adalah sebagai berikut:

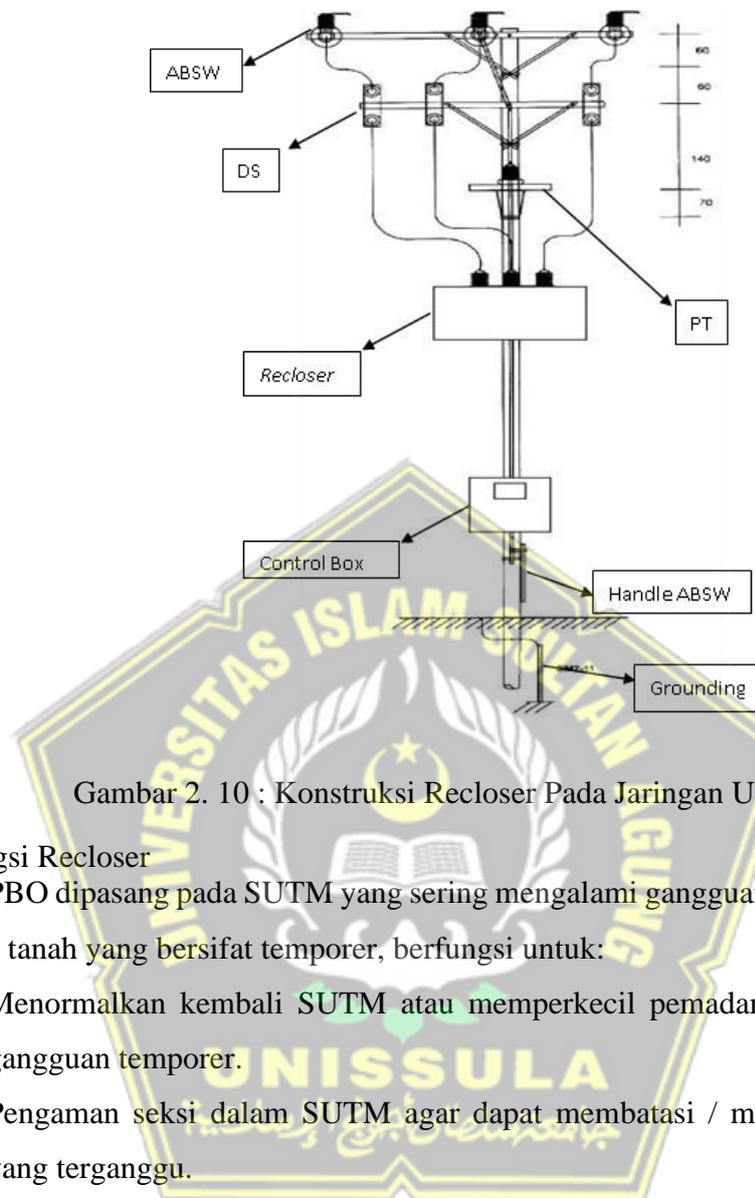
Air Break Switch (ABSW)

1. Disconnecting Switch (DS)
2. Grounding
3. Current/Potensial Transformer (CT/PT)
4. Control Box



Gambar 2. 9: Konstruksi Recloser pada Jaringan Distribusi Udara

Pada bagian atas dipasang ABSW yang berfungsi sebagai bypass, sehingga apabila dalam suatu kondisi tertentu recloser sedang dalam perbaikan maka jaringan tetap akan continue karena dibypass dengan menggunakan ABSW. Di bawah ABSW dipasang Disconnecting Switch (DS) untuk keperluan manuver. DS berfungsi untuk memisahkan bagian yang bertegangan dengan yang tidak bertegangan.



Gambar 2. 10 : Konstruksi Recloser Pada Jaringan Udara

## 2. Fungsi Recloser

PBO dipasang pada SUTM yang sering mengalami gangguan hubung singkat fasa ke tanah yang bersifat temporer, berfungsi untuk:

- a. Menormalkan kembali SUTM atau memperkecil pemadaman tetap akibat gangguan temporer.
- b. Pengaman seksi dalam SUTM agar dapat membatasi / melokalisir daerah yang terganggu.

## 3. Cara Kerja Recloser

Recloser mendeteksi gangguan menggunakan sensing trafo arus (CT) dan pengaturan elektronik. Perlengkapan elektroniknya ditempatkan pada sebuah kotak yang terpisah dari tangki recloser. Dalam melakukan perubahan karakteristik, tingkat arus penjatuh minimum dan urutan operasi recloser dapat dilakukan dengan mudah tanpa mengeluarkan dari recloser dari tangkinya. Arus pada saluran dideteksi oleh trafo arus yang dipasang pada bushing recloser, kemudian arus sekundernya dialirkan ke elektronik control box. Apabila arus melebihi batas nilai terendah dari arus penjatuh minimum, maka level detektor dan timing circuit akan

bekerja. Setelah mencapai waktu tunda yang ditentukan oleh program karakteristik arus waktu, maka rangkaian trip ( penjatuh ) mengirimkan sinyal untuk mejatuhkan ( melepaskan ) kontak utama reclose. Sementara itu rele urutan kerja akan bekerja mengatur waktu penutup kembali sesuai dengan urutan yang diinginkan.

Rele urutan kerja akan direset oleh riset timing pada posisi semula untuk mengatur penutupan kembali berikutnya. Apabila ternyata gangguan yang terjadi belum hilang, maka pada pembukaan yang terakhir sesuai urutan kerja recloser akan berada pada posisi lock out (terkunci). Secara umum, Recloser mempunyai cara kerja sebagai berikut:

- 1). Operasi cepat (*fast tripping*): untuk antisipasi gangguan temporer.
- 2). Operasi lambat (*delayed tripping*): untuk koordinasi dengan pengaman di hilir.
- 3). Bila gangguan telah hilang pada operasi cepat maka PBO akan reset kembali ke status awal. Bila muncul gangguan setelah waktu reset, PBO mulai menghitung dari awal.
- 4). *Repetitive*: reset otomatis setelah recloser success.
- 5). *Non repetitive*: memerlukan reset manual (bila terjadi gangguan permanen dan bila gangguan sudah dibebaskan).

### **c. Indeks Keandalan Jaringan Distribusi**

Indeks keandalan adalah suatu parameter keandalan dinyatakan dalam suatu besaran probabilitas, yang terdiri dari indeks titik beban dan indeks sistem. Perusahaan Listrik Negara sering menggunakan dua indeks, yakni SAIFI dan SAIDI dalam mengukur kinerja keandalan sistem tenaga listrik. Indeks keandalan yang dievaluasi biasanya menggunakan konsep klasik untuk menghitung nilai dari laju kegagalan rata-rata ( $\lambda$ ), waktu pemadaman rata-rata ( $r$ ), dan ketidakterersediaan tahunan rata-rata ( $U$ ). Keandalan pelayanan konsumen dapat dinyatakan dalam beberapa indeks yang biasanya digunakan untuk mengukur keandalan dari suatu system distribusi listrik.

#### d. Laju Kegagalan ( $\lambda$ ) dan Ketidaktersediaan (U)

Laju kegagalan ( $\lambda$ ) merupakan nilai atau jumlah dari gangguan dalam suatu interval waktu tertentu. Di dalam menghitung laju kegagalan dari sebuah grup unit, biasanya menggunakan waktu total operasi dari unit daripada waktu kronologinya. Satuan laju kegagalan adalah kegagalan/ tahun. Persamaan laju kegagalan adalah sebagai berikut (Marsudi, 2006):

$$\lambda = \frac{d}{T}$$

Keterangan:

d = banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tahun;

T = jumlah selang waktu pengamatan (tahun). Nilai laju kegagalan akan berubah sesuai dengan umur dari sistem atau peralatan listrik selama beroperasi.

Ketidaktersediaan (U) merupakan durasi atau waktu lamanya gangguan dimana sistem tidak dapat menyuplai daya ke pelanggan. Satuan dari ketidaktersediaan (*Unavailability*) adalah jam/tahun. Persamaan dari ketidaktersediaan adalah sebagai berikut (Marsudi, 2006):

$$U = \frac{\lambda}{r}$$

Untuk menghitung besarnya nilai keandalan biasanya digunakan indeks perkiraan angka keluar (outage) dan waktu perbaikan (repair time) dari masing-masing komponen sesuai dengan SPLN 59:1985. Perkiraan angka keluar (outage) dan waktu perbaikan (repair time) komponen sistem distribusi (trafo distribusi, pemutus tenaga, saklar pemisah) dinyatakan dalam tabel 1 untuk data kegagalan saluran udara tegangan menengah.

Tabel 2. 1: Data Laju Kegagalan ( $\lambda$ ), dan Waktu Keluar Komponen (r)

No	Komponen	$\lambda$ (Kegagalan/Tahun)	R (Jam/Tahun)
1	SUTM	0,2	3
2	Transformator	0,005	10
3	FCO (Cut Out)	0,003	0,25
4	Recloser	0,005	10
5	PMT (Pemutus Tenaga)	0,004	10
6	LBS (Load Break Switch)	0,003	10

Probabilitas dimana semua komponen akan berperan secara serempak atau bersamaan agar sistem tersebut dapat beroperasi sebagaimana mestinya. Persamaan yang dipakai untuk menghitung laju kegagalan sistem seri adalah sebagai berikut:

$$\lambda_{sys} = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$$

$$U_{sys} = \lambda_1 \cdot r_1 + \lambda_2 \cdot r_2 + \lambda_3 \cdot r_3$$

$$r_{sys} = \frac{U_{sys}}{\lambda_{sys}} = \lambda_1 \cdot r_1 + \lambda_2 \cdot r_2 + \lambda_3 \cdot r_3$$

Keterangan:

$\lambda$  = laju kegagalan (*failure rate*)

U = ketidakterediaan (*unavailability*)

r = waktu perbaikan.

Keandalan sistem paralel, suatu system yang disusun secara paralel akan mengalami pemadaman (mati) apabila semua komponen di dalam sistem mengalami kerusakan sebaliknya, jika hanya satu komponen saja yang rusak maka tidak akan menyebabkan sistem mati (padam). Persamaan yang dipakai untuk menghitung laju kegagalan sistem paralel adalah sebagai berikut:

$$\lambda_{sys} = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 (r_1 + r_2 + r_3)$$

$$U_{sys} = \lambda_{sys} \cdot r_{sys} = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot r_3$$

$$r_{sys} = \frac{r_1 \cdot r_2 \cdot r_3}{r_1 + r_2 + r_3}$$

#### e. SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

Untuk menentukan keandalan suatu sistem distribusi, ditunjukkan dengan indeks keandalan [11]. Indeks SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) merupakan parameter yang digunakan untuk menunjukkan besarnya kegagalan atau pemadaman yang mengakibatkan pelanggan tidak mendapatkan suplai layanan listrik. Nilai indeks SAIFI dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$SAIFI = \frac{\text{total jumlah gangguan pelanggan}}{\text{total jumlah pelanggan}} \\ = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i}$$

#### f. SAIDI (System Average Interruption Duration Index)

System Average Interruption Duration Index (SAIDI) dapat didefinisikan sebagai nilai rata-rata dari lamanya kegagalan untuk setiap konsumen selama satu tahun. Perhitungan dengan metode Section Technique dimulai dengan menghitung SAIDI per load point menggunakan persamaan berikut:

$$SAIDI = \frac{\text{total jumlah waktu gangguan yang dialami pelanggan}}{\text{total jumlah pelanggan}} \\ = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i}$$

Keterangan:

- $\sum \lambda_i \cdot N_i$  adalah jumlah perkalian antara failure rate dengan jumlah pelanggan komponen i
- $\sum U_i \cdot N_i$  adalah jumlah perkalian antara durasi kegagalan dengan jumlah pelanggan komponen i.
- $N_i$  adalah jumlah beban pada titik beban i (pelanggan)
- $\lambda_i$  adalah laju kegagalan
- $U_i$  adalah ketidaktersediaan

#### g. Pemodelan Jaringan Radial

Setiap komponen yang ada pada sistem memiliki laju kegagalan dan keandalan. Laju kegagalan dan keandalan dari sistem itu sendiri tergantung pada komponen individunya. Keandalan dari sistem seri adalah probabilitas dimana semua komponen akan berperan secara serempak atau bersamaan agar sistem tersebut dapat beroperasi dengan baik. Parameter  $\lambda$  dan  $U$  digunakan untuk menghitung nilai keandalan pada setiap peralatan yang terdapat pada jaringan distribusi.

2. *Failure Rate load point* ( $\lambda_{LP}$ ) merupakan nilai penjumlahan  $\lambda$  tiap peralatan tenaga listrik yang ada pada jaringan distribusi seperti trafo distribusi, circuit breaker, maupun sectionalizer yang mempengaruhi titik beban yang sedang dihitung, sehingga didapatkan persamaannya sebagai berikut:

$$\lambda_{sys} = \sum_i \lambda_i$$

2. *Unavailability load point* (ULP) merupakan nilai perkalian antara  $\lambda$  dengan  $r$  masing-masing peralatan yang mempengaruhi titik beban yang dihitung, sehingga didapatkan persamaannya sebagai berikut:

$$U_{sys} = \sum_i \lambda_i r_i$$

Dimana:

$\lambda_i = \lambda$  untuk peralatan  $i$

$r_i = r$  untuk peralatan  $i$

#### **h. Optimasi**

Optimasi adalah suatu proses untuk mendapatkan hasil yang optimal (nilai efektif yang dapat dicapai). Dalam disiplin matematika optimasi merujuk pada studi permasalahan yang mencoba untuk mencari nilai minimal atau maksimal dari suatu fungsi riil. Untuk dapat mencapai nilai optimal baik minimal atau maksimal tersebut, secara sistematis dilakukan pemilihan nilai variabel integer atau riil yang akan memberikan solusi optimal. Nilai optimal adalah nilai yang didapat melalui suatu proses dan dianggap menjadi solusi jawaban yang paling baik dari semua solusi yang ada [8].

Terdapat banyak jenis algoritma metaheuristic stochastic yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimalisasi mencari nilai minimum dan maksimum dari suatu dataset dan permasalahan antara lain: Particle Swarm Optimization (PSO), Genetics Algorithms (GA), Ant Colony Optimization (ACO), Simulated Annealing, Differential Evolution dll.

### **i. Particle Swarm Optimization (PSO)**

*Particle Swarm Optimization* (PSO) adalah suatu algoritma metaheuristik stochastic optimization yang dikemukakan oleh Russell C. Eberhart dan James Kennedy di tahun 1995 yang terinspirasi oleh perilaku sosial dari pergerakan burung atau ikan (Zahro dan Wahyuni, 2020:7). *Particle Swarm Optimization* disingkat sebagai PSO, didasarkan pada perilaku sebuah kawanan serangga, seperti semut, rayap, lebah atau burung. Algoritma PSO meniru perilaku sosial organisme ini.

Perilaku sosial terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu-individu lain dalam suatu kelompok. Kata partikel menunjukkan, misalnya, seekor burung dalam kawanan burung. Setiap individu atau partikel berperilaku secara terdistribusi dengan cara menggunakan kecerdasannya (*intelligence*) sendiri dan juga dipengaruhi perilaku kelompok kolektifnya. Dengan demikian, jika satu partikel atau seekor burung menemukan jalan yang tepat atau pendek menuju ke sumber makanan, sisa kelompok yang lain juga akan dapat segera mengikuti jalan tersebut meskipun lokasi mereka jauh di kelompok tersebut.

Metode optimasi yang didasarkan pada swarm intelligence ini disebut algoritma behaviorally inspired sebagai alternatif dari algoritma genetika, yang sering disebut *evolution-based procedures*. Algoritma PSO ini awalnya diusulkan oleh [1]. Dalam konteks optimasi multivariabel, kawanan diasumsikan mempunyai ukuran tertentu atau tetap dengan setiap partikel posisi awalnya terletak di suatu lokasi yang acak dalam ruang multidimensi. Setiap partikel diasumsikan memiliki dua karakteristik: posisi dan kecepatan. Setiap partikel bergerak dalam ruang/space tertentu dan mengingat posisi terbaik yang pernah dilalui atau ditemukan terhadap sumber makanan atau nilai fungsi objektif. Setiap partikel menyampaikan informasi atau posisi bagusnya kepada partikel yang lain dan menyesuaikan posisi dan kecepatan masing-masing berdasarkan informasi yang diterima mengenai posisi yang bagus tersebut. Sebagai contoh, misalnya perilaku burung-burung dalam kawanan burung. Meskipun setiap burung mempunyai keterbatasan dalam hal kecerdasan, biasanya ia akan mengikuti kebiasaan (rule) seperti berikut:

1. Seekor burung tidak berada terlalu dekat dengan burung yang lain

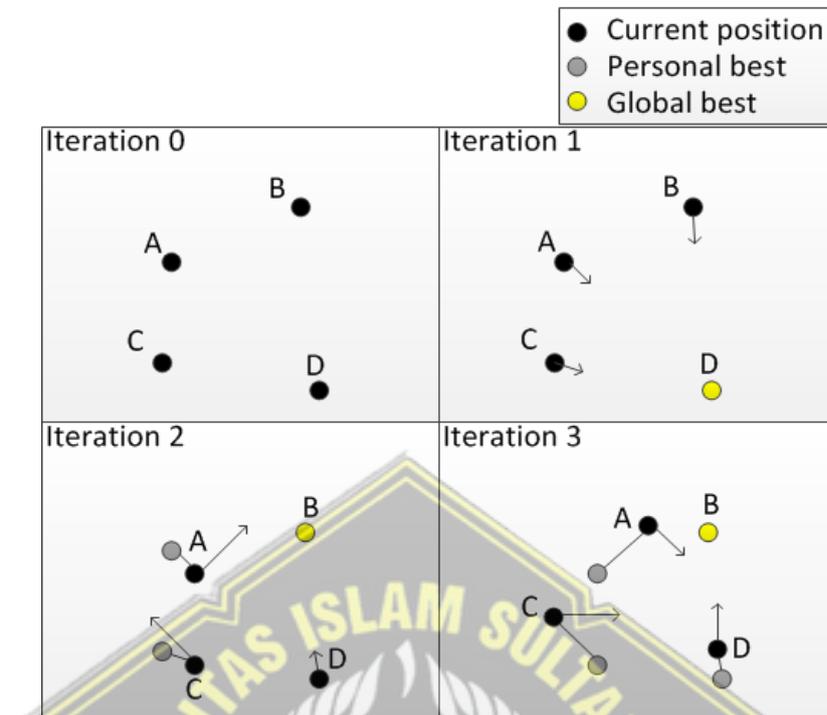
2. Burung tersebut akan mengarahkan terbangnya ke arah rata-rata keseluruhan burung
  3. Akan memposisikan diri dengan rata-rata posisi burung yang lain dengan menjaga sehingga jarak antar burung dalam kawanan itu tidak terlalu jauh
- Dengan demikian perilaku kawanan burung akan didasarkan pada kombinasi dari 3 faktor simpel berikut:

1. Kohesi - terbang bersama
2. Separasi - jangan terlalu dekat
3. Penyesuaian(alignment) - mengikuti arah bersama

Jadi PSO dikembangkan dengan berdasarkan pada model berikut:

1. Ketika seekor burung mendekati target atau makanan (atau bisa minimum atau maximum suatu fungsi tujuan) secara cepat mengirim informasi
2. kepada burung-burung yang lain dalam kawanan tertentu
3. Burung yang lain akan mengikuti arah menuju ke makanan tetapi tidak
4. secara langsung
5. Ada komponen yang tergantung pada pikiran setiap burung, yaitu memorinya tentang apa yang sudah dilewati pada waktu sebelumnya.

Model ini disimulasikan dalam ruang dengan dimensi tertentu dengan sejumlah iterasi sehingga di setiap iterasi, posisi partikel akan semakin mengarah ke target yang dituju (minimasi atau maksimasi fungsi). Ini dilakukan hingga maksimum iterasi dicapai atau bisa juga digunakan kriteria penghentian yang lain. Skema dari PSO dapat digambarkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. 11: Skema PSO

### - Algoritma *Particle Swarm Optimization (PSO)*

Dasar dari algoritma PSO terdiri dari segerombolan partikel 'n' dan posisi setiap partikel merepresentasikan solusi yang mungkin dari fungsi fitness dalam ruang pencarian D-dimensi. Partikel ini mengubah kondisinya di bawah pengaruh tiga faktor:

1. Inersia
2. Personal Best
3. Global Best

Kecepatan update di PSO terdiri dari tiga bagian:

1. Momentum: Ini mewakili kecenderungan partikel untuk bergerak ke arah yang sama dengannya bergerak pada iterasi sebelumnya. Ini menggabungkan efek dari kecepatan sebelumnya pada kecepatan arus partikel.

2. Bagian kognitif: Ini mewakili tarikan ke kecepatan partikel menuju yang terbaik pribadinya ( $P$  terbaik). Disebut sebagai ingatan, pengetahuan diri atau ingatan.
3. Bagian sosial: Ini mewakili tarikan ke kecepatan partikel menuju swarm best ( $Gbest$ ). Disebut sebagai kerjasama, pengetahuan sosial atau berbagi informasi.

#### - Implementasi *Particle Swarm Optimization (PSO)*

Tujuan dari penggunaan algoritma *particle swarm optimization* pada penelitian ini adalah untuk menentukan lokasi penempatan recloser jaringan yang paling optimal terhadap nilai SAIDI dan SAIFI. Hal ini dapat dilakukan dengan mencari nilai fitness terbaik serta mencari nilai SAIFI dan SAIDI yang paling rendah. Implementasi PSO ini menggunakan bantuan MATLAB software.

Berikut merupakan proses langkah kerja dari *particle swarm optimization* [9]:

1. Menentukan ukuran swarm (populasi), nilai awal, dan kecepatan partikel secara random.
2. Mengevaluasi nilai fungsi tujuan pada setiap partikel
3. Menentukan nilai  $Pbest$  (posisi terbaik dari partikel) dan  $Gbest$  (posisi terbaik global dari keseluruhan kumpulan partikel)
4. Menghitung kecepatan baru pada iterasi selanjutnya dengan menggunakan persamaan [10]:

$$V_{ik+1} = \theta_k V_{ik} + c_1 r_1 (pbest_{ik} - X_{ik}) + c_2 r_2 (gbest_{ik} - X_{ik})$$

Keterangan:

$V_{ik}$  adalah kecepatan partikel  $i$  pada iterasi ke  $k$

$\theta_k$  adalah bobot inersia (inertia weight)

$r_1, r_2$  adalah bilangan random berdistribusi uniform antara 0-1

$c_1, c_2$  adalah bilangan konstan positif

$X_{ik}$  adalah posisi partikel  $i$  pada iterasi  $k$ .

5. Menentukan posisi partikel baru pada iterasi selanjutnya dengan persamaan:

$$xid\ k + 1 = xidk + vidk + 1$$

6. Mengupdate nilai Pbest dan Gbest
7. Melakukan pengecekan apakah solusi sudah optimal atau belum. Jika sudah mendapatkan hasil yang optimal, maka proses algoritma akan berhenti, tetapi jika hasil yang didapat belum optimal maka proses akan diulangi kembali ke langkah nomor 4.



## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini dijelaskan beberapa hal pokok terkait dengan tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan penelitian, blok sistem dan diagram alir (flowchart) serta langkah-langkah pengolahan data. Dalam penelitian ini diperhitungkan cara menilai keandalan sistem suatu jaringan distribusi PT PLN (Persero) ULP Semarang Barat pada Penyulang RDT03 yang bertujuan untuk mencari titik peletakan recloser secara optimal menggunakan perhitungan yang sistematis.

### **3.1 Lokasi Penelitian**

Penelitian ini dilakukan pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 KV PT PLN (Persero) ULP Semarang Barat pada penyulang RDT03 yang merupakan dua penyulang yang terhubung secara *mesh* dari 32 *feeder* yang dioperasikan di ULP Semarang Barat. PT PLN (Persero) ULP Semarang Barat merupakan Rayon yang berada di wilayah PT PLN (Persero) UP3 Semarang dan dibawah PT PLN (persero) Unit Induk Distribusi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta (DJTY).

Secara wilayah dan beban, penyulang RDT03 merupakan penyulang khusus yang mensuplai energi listrik dan tegangan kepada pelanggan di Kawasan Tambak Aji, Ngaliyan. RDT03 merupakan penyulang yang berasal dari Gardu Induk 150kV Randugarut Transformator #1 60MVA. Penyulang RDT03 ini memiliki topologi jaringan *mesh* yang memiliki titik NO (*Normally Open*) dengan penyulang RDT04 dan KPK04.

### **3.2 Sumber Data**

Sumber data dalam penyusunan karya ilmiah Tugas Akhir ini terbagi menjadi dua kategori yaitu sumber data primer dan sumber data sekunder. Sumber data primer adalah data yang diperoleh penulis secara langsung (dari tangan

pertama), sementara sumber data sekunder adalah data yang diperoleh penulis dari sumber yang sudah ada atau literatur, paper dan textbook.

### 3.2.1 Data Primer

Data primer yang digunakan pada penulisan ini didapat dengan cara melakukan pengamatan langsung di lapangan, melakukan pengamatan beban pada sistem SCADA dan mencatat sistem konfigurasi. Tujuan dari pengambilan data ini adalah untuk mendapatkan data-data yang diperlukan berkaitan dengan penelitian tugas akhir. Berikut ini data-data yang diperlukan:

- a. Data Panjang Penyulang 20kV RDT03
- b. Data jumlah transformator distribusi dan kapasitasnya yang terpasang di penyulang RDT03
- c. Data peralatan switching yang terpasang pada jaringan TM RDT03
- d. Data Jumlah pelanggan yang tersambung pada setiap transformator yang terpasang di penyulang RDT03
- e. Data peralatan proteksi yang terpasang pada jaringan RDT03
- f. Data topologi, konfigurasi dan *single line diagram* penyulang RDT03

### 3.2.2 Data Sekunder

Data Sekunder yang digunakan pada penelitian ini adalah data-data yang berkaitan dengan perhitungan SAIDI dan SAIFI section dari penyulang RDT03. Data ini antara lain adalah data Laju Kegagalan ( $\lambda$ ) dari masing-masing komponen yang terpasang pada jaringan penyulang RDT03.

## 3.3 Teknik Pengumpulan Data

Dalam pengumpulan data yang diperlukan, peneliti melakukan serangkaian kegiatan di lapangan secara langsung, diantaranya melakukan observasi dan *survey* secara langsung di penyulang (*feeder*) RDT03 dan mencocokkannya dengan *single line diagram* yang ada. Mengamati bagaimana kondisi jaringan, jenis dan ukuran trafo yang digunakan beserta jumlah pelanggan yang terhubung pada trafo tersebut

kemudian mengamati dan mencatat peralatan jaringan dan pengaman/proteksi yang ada di penyulang tersebut. Agar proses pengumpulan data dapat berjalan baik diperlukan alat-alat pendukung sebagai sarana utama dalam pengamatan diantaranya adalah :

#### 3.3.1 Alat Tulis

Alat tulis adalah alat yang digunakan untuk mencatat setiap catatan yang dianggap penting dilapangan. Alat tulis yang digunakan berupa pulpen.

#### 3.3.2 Laptop

*Notebook* digunakan untuk mengolah dan menyimpan data yang diperoleh diantaranya materi-materi dari internet seperti perhitungan perhitungan serta data dari ULP Semarang Barat. *Laptop* yang digunakan adalah *Asus Vivobook*.

#### 3.3.3 Software Matlab

Software Matlab digunakan secara extensive pada penelitian ini untuk melakukan simulasi terhadap nilai optimal dari penempatan recloser terhadap nilai SAIDI dan SAIFI. Semua parameter dan angka yang dikumpulkan dan dianalisis saat pengumpulan data primer dan data sekunder dimodelkan kedalam Bahasa pemrograman Matlab, M file dengan menggunakan algoritma PSO.

### 3.4 Analisa Sistem

Penelitian ini memiliki tujuan untuk menghitung dan menganalisis penempatan recloser yang paling optimal berdasarkan nilai SAIDI SAIDI yang paling rendah pada penyulang RDT03 dengan menggunakan optimalisasi algoritma *Particle Swarm Optimization*. Analisis terhadap hubungan penempatan *recloser* terhadap keandalan jaringan distribusi harus dicari terlebih dahulu. Untuk mengetahui keandalan suatu penyulang distribusi, maka perlu diketahui nilai SAIDI SAIFI penyulang tersebut sebelum dilakukan optimalisasi. Untuk menentukan nilai dari SAIDI dan SAIFI maka dibutuhkan nilai laju kegagalan dari masing masing komponen sistem distribusi dan nilai waktu keluar komponen atau waktu perbaikan

komponen pada sistem distribusi tersebut, karena tiap tiap komponen sistem distribusi mempunyai laju kegagalan dan waktu keluar atau waktu perbaikan komponen.

Jika dilihat berdasarkan angka SAIDI dan SAIFI, maka semakin besar nilai dari SAIDI maupun SAIFI pada suatu titik beban maka semakin rendah nilai keandalan pada titik tersebut dan sebaliknya semakin kecil nilai dari SAIDI dan SAIFI pada suatu titik maka semakin tinggi keandalan sistem tersebut. Untuk menganalisa nilai dari SAIFI dan SAIDI pada titik beban pada suatu penyulang sistem distribusi maka diperlukan beberapa data yaitu jumlah pelanggan titik beban, konfigurasi jaringan penyulang RDT03, data laju kegagalan serta data waktu keluar atau perbaikan komponen.

#### 3.4.1 Jumlah Pelanggan pada Load Point (LP)

Jumlah pelanggan pada setiap *Load Point* (LP) merupakan data yang cukup penting diketahui karena fungsi SAIDI dan SAIFI sangat dipengaruhi oleh jumlah pelanggan. Penyulang RDT03 memiliki sebanyak 45 trafo distribusi atau *Load Point*. Penyulang RDT03 merupakan penyulang khusus yang melayani wilayah Kawasan Industri Tambak Aji, sehingga rata-rata setiap gardu hanya melayani 1 hingga 2 pelanggan. Dengan jumlah pelanggan yang bervariasi tiap titik beban dengan jumlah pelanggan keseluruhan pada sistem yaitu sebesar 74 pelanggan jarak antar titik trafo akan dijadikan sebuah section yang akan digunakan untuk menganalisa gabungan dari laju kegagalan dan waktu perbaikan pada tiap section tersebut. Data tiap tiap titik beban yaitu sebagai berikut :

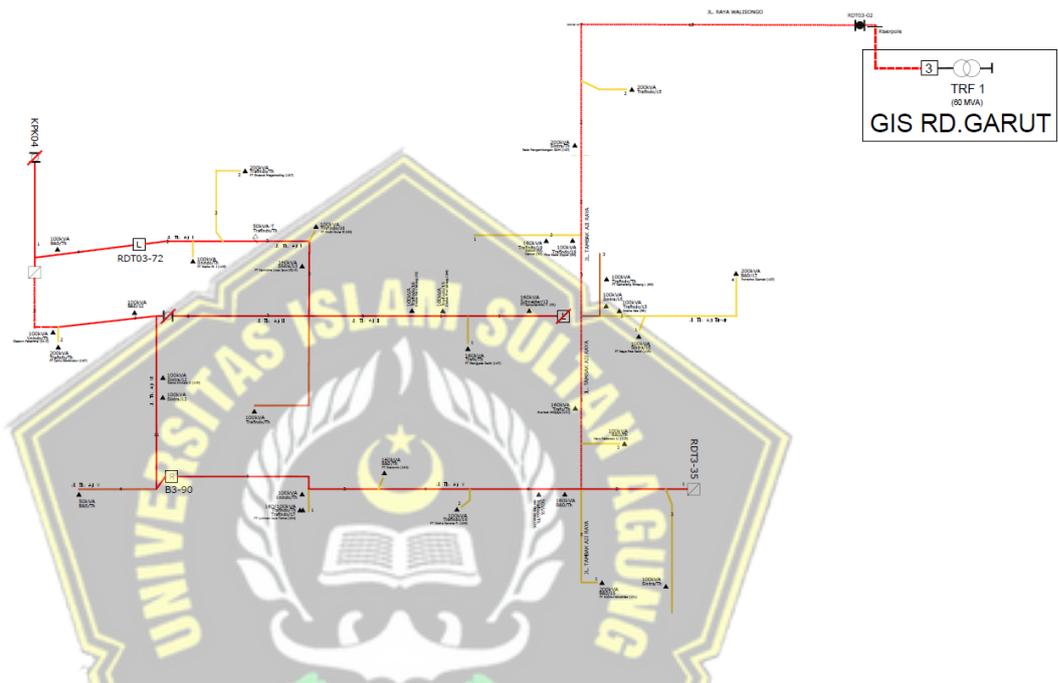
Tabel 3. 1 Jumlah Pelanggan Setiap Load Point

No	No Tiang	Jumlah Pelanggan	Alamat
1	RDT03-010/S001	2	Jl. Raya Walisongo
2	RDT03-014/T002	1	Jl. Tambak Aji Raya
3	RDT03-017	1	Jl. Tambak Aji Raya
4	RDT03-022/B001	2	Jl. Tambak Aji Gang II
5	RDT03-022/B002	1	Jl. Tambak Aji Gang II
6	RDT03-025/T001	1	Jl. Tambak Aji Raya
7	RDT03-025/T001/U001	3	Jl. Tambak Aji Raya

8	RDT03-025/T002	2	Jl. Tambak Aji Timur I
9	RDT03-025/T003/S001	1	Jl. Tambak Aji Timur I
10	RDT03-025/T008	1	Jl. Tambak Aji Timur I
11	RDT03-027	1	Jl. Tambak Aji Raya
12	RDT03-027/T001	1	Jl. Tambak Aji Raya
13	RDT03-028/T002	2	Jl. Tambak Aji Raya
14	RDT03-030/S004/T001	2	Jl. Tambak Aji Raya
15	RDT03-030/S005/B001	1	Jl. Tambak Aji Raya
16	RDT03-031	1	Jl. Tambak Aji Gang V
17	RDT03-032	2	Jl. Tambak Aji Gang V
18	RDT03-034/S002	2	Jl. Tambak Aji I
19	RDT03-038	1	Jl. Tambak Aji Gang V
20	RDT03-038/U001	1	Jl. Tambak Aji Gang V
21	RDT03-041	1	Jl. Tambak Aji Gang V
22	RDT03-041/S001	2	Jl. Tambak Aji Gang V
23	RDT03-041/S001A	3	Jl. Tambak Aji Gang V
24	RDT03-049/B003	2	Jl. Tambak Aji Gang V
25	RDT03-053	1	Jl. Tambak Aji V
26	RDT03-054	2	Jl. Tambak Aji VI
27	RDT03-058	1	Jl. Tambak Aji II
28	RDT03-060	1	Jl. Tambak Aji II
29	RDT03-060/U001	1	Jl. Tambak Aji II
30	RDT03-061	1	Jl. Tambak Aji II
31	RDT03-061/S001	1	Jl. Tambak Aji II
32	RDT03-069	2	Jl. Tambak Aji I
33	RDT03-074/S001	1	Jl. Tambak Aji I
34	RDT03-075/U004	1	Jl. Tambak Aji I
35	RDT03-076	14	Jl. Tambak Aji I
36	RDT03-078/U001	1	Jl. Tambak Aji I
37	RDT03-079	1	Jl. Tambak Aji I
38	RDT03-081/B003/S001	1	Jl. Tambak Aji Gang II
39	RDT03-081/S006	1	Jl. Tambak Aji I
40	RDT03-081/S009	1	Jl. Tambak Aji I
41	RDT03-084	1	Jl. Tambak Aji Gang II
42	RDT03-084/S002	1	Jl. Tambak Aji Gang II
43	RDT03-085	2	Jl. Tambak Aji Gang II
44	RDT03-086/S001	1	Jl. Tambak Aji Gang II
45	RDT03-089	1	Jl. Tambak Aji Gang II

### 3.4.2 Single Line Diagram (SLD) Penyulang RDT03

Untuk memudahkan menghitung angka laju kegagalan dan waktu keluar section dan sub-section, maka diperlukan Single Line Diagram (SLD) Penyulang RDT03 untuk memudahkan dalam perhitungan. Berikut merupakan SLD Penyulang RDT03:



Gambar 3. 1: SLD Penyulang RDT03

### 3.4.3 Laju Kegagalan ( $\lambda$ ) dan Down Time (r)

Angka laju kegagalan ( $\lambda$ ) dan waktu keluar (downtime) (r) tiap komponen yang digunakan didasarkan pada standar yang ditetapkan oleh PLN pada SPLN no 59 tahun 1985. Yaitu untuk setiap komponen pada suatu sistem jaringan distribusi mempunyai standart laju kegagalan dan waktu perbaikan komponen sebagai berikut:

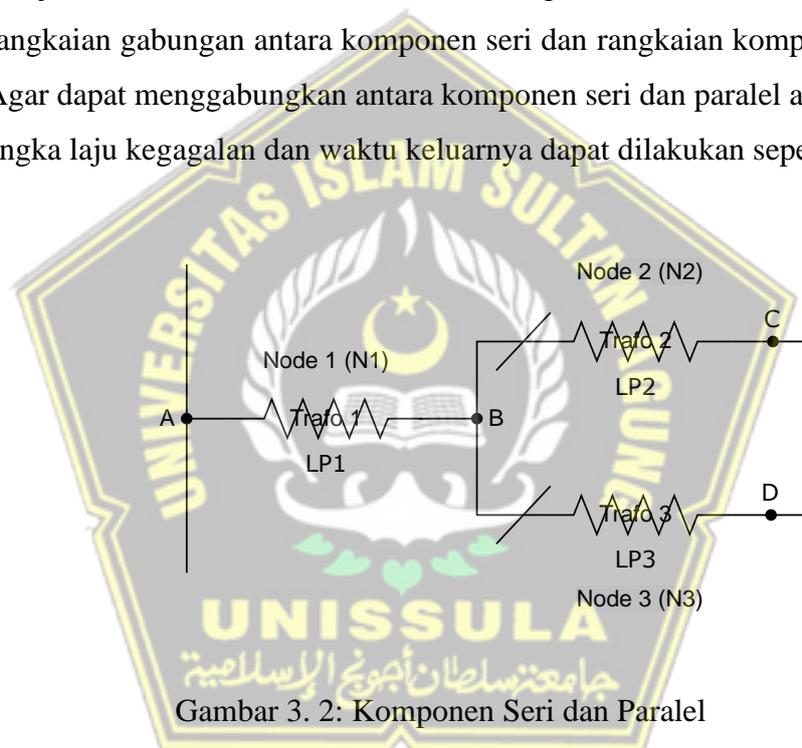
Tabel 3. 2 : Standart Laju Kegagalan dan Waktu Perbaikan Komponen

No	Peralatan	( $\lambda$ ) kegagalan/tahun	R (jam/tahun)
1	SUTM	0,2	3
2	Transformator	0,005	10
3	Fuse Cut Out (FCO)	0,003	0,25
4	Recloser	0,005	10

5	PMT	0,004	10
6	LBS	0,003	10

Data-data laju kegagalan komponen yang didapat dari SPLN no 59 tahun 1985 ini akan digunakan sebagai basis data untuk menghitung angka keandalan dan waktu perbaikan komponen pada tiap section. Ada beberapa langkah yang harus dilakukan dalam menghitung angka laju kegagalan, waktu keluar, SAIDI dan SAIDI setiap section antara lain:

- a. Tahap pertama yang dilakukan adalah membedakan penyulang RDT03 menjadi section utama dan section cabang. Pada section cabang terdapat rangkaian gabungan antara komponen seri dan rangkaian komponen paralel. Agar dapat menggabungkan antara komponen seri dan paralel agar diketahui angka laju kegagalan dan waktu keluarnya dapat dilakukan seperti berikut:



Gambar 3. 2: Komponen Seri dan Paralel

Diagram diatas menunjukkan sebuah kondisi dimana section cabang terdiri dari komponen seri dan paralel. Pada gambar diatas, terdapat tiga trafo atau Load Point (LP) yaitu LP<sub>1</sub>, LP<sub>2</sub> dan LP<sub>3</sub>. Pada diagram ini juga terdapat tiga Node jaringan yang dibagi berdasarkan jumlah node yaitu N<sub>1</sub> yang berasal dari titik A ke B, N<sub>2</sub> dari B ke C dan node N<sub>3</sub> dari B ke D. Untuk menyederhanakan jaringan tersebut pertama yaitu menghitung laju kegagalan dan waktu perbaikan komponen tiap node.

$$\lambda_{N1} = \lambda_{T1} + \lambda_{SUTM1}$$

$$\lambda_{N2} = \lambda_{T2} + \lambda_{SUTM2}$$

$$\lambda_{N3} = \lambda_{T3} + \lambda_{SUTM3}$$

Dengan:

$\lambda_{Nx}$  = Laju Kegagalan Node ke x

$\lambda_{Tx}$  = Laju Kegagalan Trafo ke x

$\lambda_{SUTMx}$  = Laju Kegagalan SUTM ke x

Selanjutnya mencari waktu ketidaktersediaan komponen tiap node,  $U_{Nx}$ :

$$U_{N1} = (\lambda_{T1} \times r_{T1}) + (\lambda_{SUTM1} \times r_{SUTM1})$$

$$U_{N2} = (\lambda_{T2} \times r_{T2}) + (\lambda_{SUTM2} \times r_{SUTM2})$$

$$U_{N3} = (\lambda_{T3} \times r_{T3}) + (\lambda_{SUTM3} \times r_{SUTM3})$$

Setelah laju kegagalan ( $\lambda$ ) dan ketersediaan komponen ( $U$ ) setiap node sudah ditemukan, selanjutnya mencari laju kegagalan pada load point – load point yang ada. Untuk pertama, kita hitung untuk load point ujung yang paralel antara LP<sub>2</sub> dan LP<sub>3</sub>:

$$\lambda_{LP2} = \lambda_{N2} = \lambda_{T2} + \lambda_{SUTM2}$$

$$U_{LP2} = U_{N2} = (\lambda_{T2} \times r_{T2}) + (\lambda_{SUTM2} \times r_{SUTM2})$$

$$\lambda_{LP3} = \lambda_{N3} = \lambda_{T3} + \lambda_{SUTM3}$$

$$U_{LP3} = U_{N3} = (\lambda_{T3} \times r_{T3}) + (\lambda_{SUTM3} \times r_{SUTM3})$$

Untuk load point LP<sub>1</sub> yaitu mengkombinasikan antara rangkaian seri dan paralel antara LP<sub>2</sub>//LP<sub>3</sub>

$$\lambda_{LP2} \parallel \lambda_{LP3} = (\lambda_{LP2} \times \lambda_{LP3}) \times (r_{LP2} + r_{LP3})$$

$$\lambda_{LP2} \parallel \lambda_{LP3} = (U_{LP2}) \times (U_{LP3})$$

Maka:

$$\lambda_{LP1} = \lambda_{N1} + \lambda_{LP2} \text{ II } \lambda_{LP3}$$

$$U_{N1} = U_{N1} + \lambda_{LP2} \text{ II } \lambda_{LP3}$$

- b. Setelah melakukan perhitungan diatas untuk menentukan laju kegagalan dan waktu ketersediaan komponen tiap load point kemudian dapat dihitung SAIDI, SAIFI pada masing masing load point yaitu dengan menggunakan persamaan:

$$SAIDI = \frac{\sum N_{LP} \times U_{LP}}{\sum N}$$

Dimana:

$N_{LP}$  = Jumlah konsumen pada load point

$N$  = Jumlah konsumen seluruh load point

$U_{LP}$  = total waktu ketersediaan peralatan pada load point

$$SAIFI = \frac{\sum N_{LP} \times \lambda_{LP}}{\sum N}$$

Dimana:

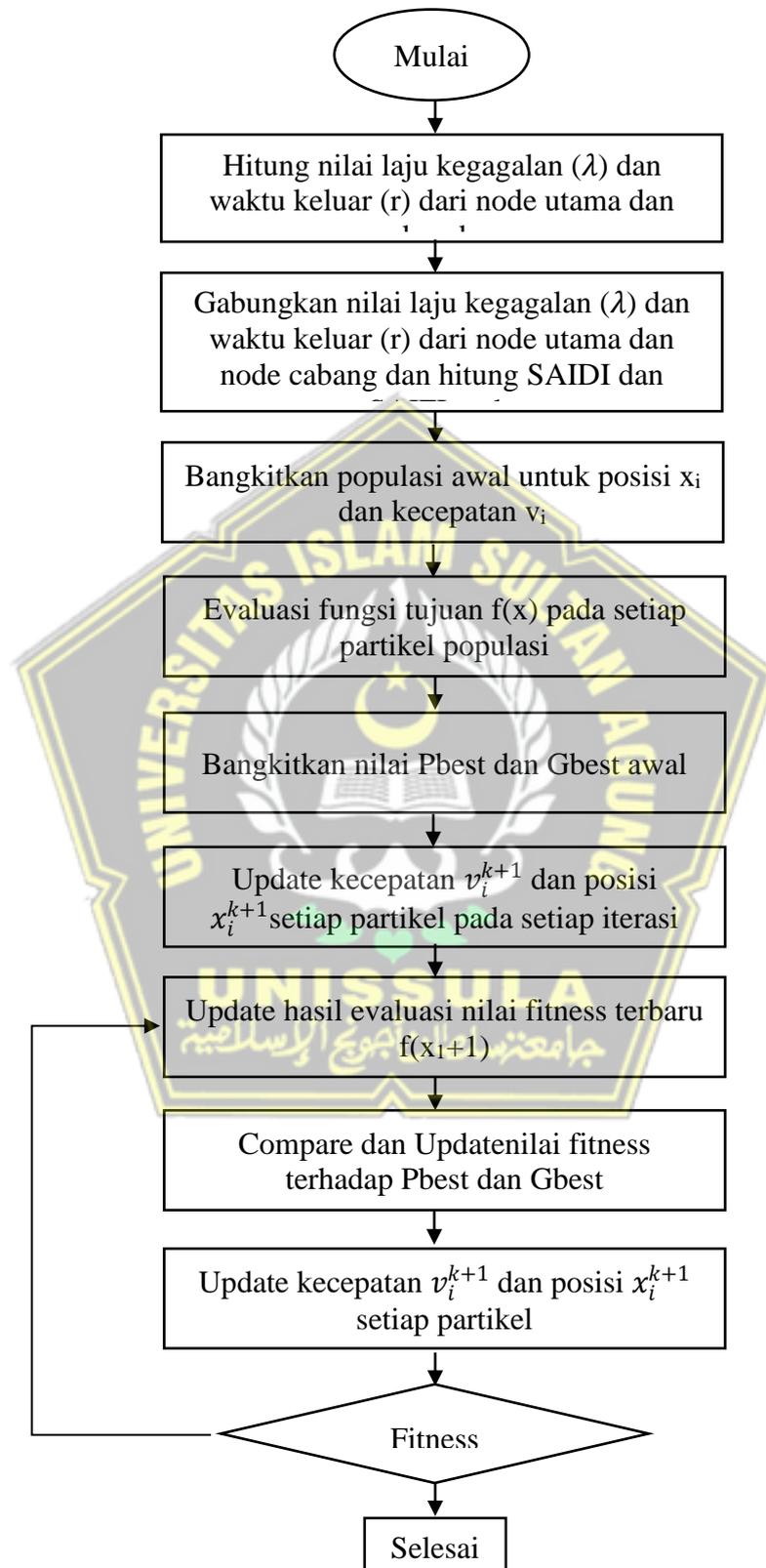
$N_{LP}$  = Jumlah konsumen pada load point

$N$  = Jumlah konsumen seluruh load point

$\lambda_{LP}$  = Laju kegagalan peralatan pada load point

- c. Data data laju kegagalan ( $\lambda$ ) dan ketidaksediaan komponen (U) akan dimasukkan pada sebuah algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) yang dituangkan dalam bahasa M Matlab sehingga didapatkan letak recloser yang paling optimal pada penyulang RDT03.

### 3.4.4 Alur Penelitian



Gambar 3. 3: Diagram Alur Penelitian

Alur dari penelitian ini dijabarkan dalam langkah-langkah berikut:

1. Mengidentifikasi semua peralatan jaringan dan komponen jaringan yang terhubung dalam penyulang RDT03.
2. Mengidentifikasi topologi jaringan dan memisahkan antara node utama dan node cabang.
3. Hitung terlebih dahulu nilai laju kegagalan, waktu perbaikan komponen, SAIDI dan SAIFI dari node cabang, kemudian hitung laju kegagalan, waktu perbaikan, SAIDI dan SAIFI komponen dari node utama.
4. Gabungkan nilai hasil perhitungan laju kegagalan waktu perbaikan, SAIDI dan SAIFI dari node cabang kedalam node utama karena recloser hanya akan ditempatkan pada node utama.
5. Melakukan Inisialisasi awal populasi (*swarm*) untuk membangkitkan nilai posisi ( $X$ ) dan kecepatan ( $V$ ) partikel (individu) awal secara acak:

$$x_i = [x_1, x_2, x_3 \dots x_n] \text{ dimana } i = 1, 2, 3 \dots n$$

$$v_i = [v_1, v_2, v_3 \dots v_n] \text{ dimana } i = 1, 2, 3 \dots n$$

6. Evaluasi nilai fitness dari setiap individu yang telah diinisiasi dan dilakukan iterasi berdasarkan fungsi objective  $f(x)$ :

$$f(x) = \frac{1}{SAIFI \times SAIDI}$$

7. Inisialisasi nilai Global Best (Gbest) dan Personal Best (Pbest) dengan mengasumsikan bahwa semua posisi awal sebagai Pbest. Setelah itu compare dan cari nilai populasi minimum sebagai Gbest.
8. Dalam PSO, populasi adalah jumlah dari Swarm. Setiap partikel memiliki posisi dan kecepatan. Partikel selalu bergerak menuju posisi baru dengan kecepatan tertentu. Setelah partikel mencapai suatu posisi tertentu, maka nilai Pbest dan Gbest partikel tersebut diupdate. Kemudian kecepatan partikel berubah berdasarkan pengalaman perjalanan partikel tersebut  $v_i^{k+1}$  dan posisi partikel di update  $x_i^{k+1}$ .

9. Melakukan pengecekan terhadap solusi apakah solusi tersebut sudah optimal atau belum dengan berpatokan pada nilai fitness terbaik yang ada pada sistem.



## BAB IV DATA DAN ANALISA

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 RDT03.

### 4.1 Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang RDT03

#### 4.1.1 Laju Kegagalan dan *Unavailability* Main Feeder RDT03

Jika melihat *Single Line Diagram* (SLD) topologi penyulang RDT03, maka dapat dilihat bahwa terdapat sebanyak 16 Load Point (LP) pada jalur utama atau node utama penyulang RDT03:

Tabel 4. 1: Load Point Penyulang RDT03

LP	No Tiang	DayaTrafo	FASA	Merk Trafo	Alamat
2	RDT03-017	200	3	Sintra	Jl. Tambak Aji Raya
3	RDT03-027	160	3	Trafindo	Jl. Tambak Aji Raya
4	RDT03-031	160	3	BambangDjaja	Jl. Tambak Aji V
5	RDT03-032	50	3	Trafindo	Jl. Tambak Aji V
6	RDT03-041	50	3	Trafindo	Jl. Tambak Aji VI
7	RDT03-053	100	3	BambangDjaja	Jl. Tambak Aji VI
8	RDT03-054	100	3	Sintra	Jl. Tambak Aji VI
9	RDT03-058	100	3	BambangDjaja	Jl. Tambak Aji II
10	RDT03-060	100	3	Sintra	Jl. Tambak Aji II
11	RDT03-061	160	3	Unindo	Jl. Tambak Aji II
12	RDT03-069	100	3	BambangDjaja	Jl. Tambak Aji I
13	RDT03-076	50	3	Sintra	Jl. Tambak Aji I
14	RDT03-079	160	3	Sintra	Jl. Tambak Aji I
15	RDT03-084	100	3	Trafindo	Jl. Tambak Aji II
16	RDT03-085	160	3	Trafindo	Jl. Tambak Aji II
17	RDT03-089	160	3	Scneider	Jl. Tambak Aji II

Selanjutnya, dengan menggunakan tabel laju kegagalan dan waktu perbaikan dalam SPLN No. 59 Tahun 1985, laju kegagalan ( $\lambda$ ) dan ketidaksediaan komponen (U)

untuk load point (LP) pada node utama ini dapat dihitung. Berikut hasil perhitungan nilai laju kegagalan ( $\lambda$ ) dan ketidaksediaan komponen (U):

Tabel 4. 2: Nilai Laju Kegagalan ( $\lambda$ ) dan Ketidaksediaan Komponen (U) Pada Main Feeder

No	LP	PMT		SUTM			Trafo		LBS		No. Tiang	#Pelanggan	Total	
		$\lambda$	r	$\lambda$	r	L	$\lambda$	r	$\lambda$	r			$\lambda$	$U(\lambda \times r)$
1	1	0	10	0,2	3	0,85	0	0	0	10	RDT03-002	0	0,18	0,58
2	2	0	0	0,2	3	0,5	0,01	10	0	0	RDT03-017	1	0,28	0,86
3	3	0	0	0,2	3	0,4	0,01	10	0	0	RDT03-027	1	0,37	1,15
4	4	0	0	0,2	3	0,05	0,01	10	0	0	RDT03-031	1	0,38	1,23
5	5	0	0	0,2	3	0,45	0,01	10	0	0	RDT03-032	2	0,48	1,55
6	6	0	0	0,2	3	0,6	0,01	10	0	0	RDT03-041	1	0,6	1,96
7	7	0	0	0,2	3	0,05	0,01	10	0	0	RDT03-053	1	0,62	2,04
8	8	0	0	0,2	3	0,2	0,01	10	0	0	RDT03-054	2	0,66	2,21
9	9	0	0	0,2	3	0,1	0,01	10	0	0	RDT03-058	1	0,69	2,32
10	10	0	0	0,2	3	0,05	0,01	10	0	0	RDT03-060	1	0,7	2,4
11	11	0	0	0,2	3	0,4	0,01	10	0	10	RDT03-061	1	0,79	2,75
12	12	0	0	0,2	3	0,35	0,01	10	0	10	RDT03-069	2	0,87	3,04
13	13	0	0	0,2	3	0,15	0,01	10	0	0	RDT03-076	14	0,9	3,09
14	14	0	0	0,2	3	0,25	0,01	10	0	0	RDT03-079	1	0,96	3,29
15	15	0	0	0,2	3	0,05	0,01	10	0	0	RDT03-084	1	0,97	3,37
16	16	0	0	0,2	3	0,2	0,01	10	0	0	RDT03-085	2	1,02	3,54
17	17	0	0	0,2	3	0,1	0,01	10	0	10	RDT03-089	1	1,05	3,77

#### 4.1.2 Laju Kegagalan dan *Unavailability* Lateral Feeder RDT03

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 sub-bab 3.4.3. Pada umumnya node cabang terdiri dari komponen yang tersambung secara seri, parallel bahkan gabungan antara seri-parallel.

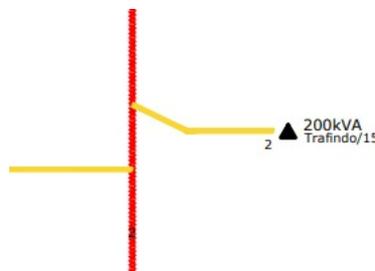
Merujuk pada Single Line Diagram (SLD) Penyulang RDT03, dapat diamati bahwa jumlah node lateral ada sebanyak 27 cabang. Sebelum dapat menghitung nilai SAIDI dan SAIFI gabungan antara node utama dan node lateral, maka nilai laju kegagalan ( $\lambda$ ) dan ketidaksediaan komponen (U) harus dihitung terlebih dahulu menggunakan metode section technique:

Tabel 4. 3: Jumlah Node Lateral di RDT03

KODE GARDU	NO TIANG	DAYA TRAF0	FASA	MERK TRAF0	TAHUN	ALAMAT
GDL01	RDT03-014/T002	200	3	TRAFINDO	2015	JL. TAMBAK AJI RAYA
GDL02	RDT03-022/B001	100	3	TRAFINDO	N/A	JL. TAMBAK AJI GANG II
GDL03	RDT03-022/B002	160	3	TRAFINDO	N/A	JL. TAMBAK AJI GANG II
GDL04	RDT03-025/T001	160	3	SINTRA	2015	JL. TAMBAK AJI RAYA
GDL05	RDT03-025/T001/U001	100	3	TRAFINDO	N/A	JL. TAMBAK AJI RAYA
GDL06	RDT03-025/T002	100	3	TRAFINDO	2015	JL. TAMBAK AJI TIMUR I
GDL07	RDT03-025/T003/S001	100	3	SINTRA	N/A	JL. TAMBAK AJI TIMUR I
GDL08	RDT03-025/T008	200	3	BAMBANG DJAJA	N/A	JL. TAMBAK AJI TIMUR I
GDL09	RDT03-028/T002	100	3	BAMBANG DJAJA	N/A	JL. TAMBAK AJI RAYA
GDL10	RDT03-030/S005/T001	200	3	BAMBANG DJAJA	N/A	JL. TAMBAK AJI RAYA
GDL11	RDT03-030/S006/B001	50	1	BAMBANG DJAJA	N/A	JL. TAMBAK AJI RAYA
GDL12	RDT03-030/T004/S005	100	3	TRAFINDO	2015	JL. TAMBAK AJI TIMUR
GDL13	RDT03-034/S002	100	3	TRAFINDO	N/A	JL. TAMBAK AJI I
GDL14	RDT03-038/U001	200	3	BAMBANG DJAJA	N/A	JL. TAMBAK AJI GANG V
GDL15	RDT03-041/S001	160	3	TRAFINDO	N/A	JL. TAMBAK AJI GANG V
GDL16	RDT03-041/S001A	100	3	TRAFINDO	2017	JL. TAMBAK AJI GANG V
GDL17	RDT03-049/B003	50	3	UNINDO	N/A	JL. TAMBAK AJI GANG V
GDL18	RDT03-060/U001	50	1	SINTRA	N/A	JL. TAMBAK AJI II
GDL19	RDT03-061/S001	200	3	TRAFINDO	N/A	JL. TAMBAK AJI II
GDL20	RDT03-074/S001	100	3	BAMBANG DJAJA	N/A	JL. TAMBAK AJI I
GDL21	RDT03-075/U004	200	3	SINTRA	N/A	JL. TAMBAK AJI I
GDL22	RDT03-078/U001	100	3	SINTRA	N/A	JL. TAMBAK AJI I
GDL23	RDT03-081/B003/S001	25	1	BAMBANG DJAJA	N/A	JL. TAMBAK AJI GANG II
GDL24	RDT03-081/S006	50	3	SINTRA	N/A	JL. TAMBAK AJI I
GDL25	RDT03-081/S009	25	1	BAMBANG DJAJA	N/A	JL. TAMBAK AJI I
GDL26	RDT03-084/S002	25	1	BAMBANG DJAJA	N/A	JL. TAMBAK AJI GANG II
GDL27	RDT03-086/S001	160	3	UNINDO	N/A	JL. TAMBAK AJI GANG II

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 RDT03-014/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 ( $\lambda$ ) 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	$\lambda$	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* komponennya, 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

$$\begin{aligned}\lambda_A &= 0,028 + 0,117 \\ &= 0,205\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}U_A &= 0,11075 + 0,58 \\ &= 0,69075\end{aligned}$$

Kemudian dapat dilakukan perhitungan SAIFI dan SAIDI sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{SAIFI}_{SEC18} &= \frac{0,028 \times 2}{83} \\ &= 0,004939\end{aligned}$$

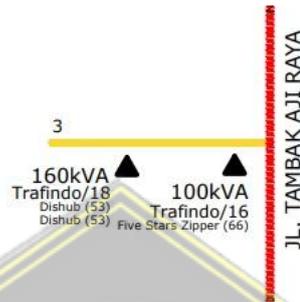
$$\begin{aligned}\text{SAIDI}_{SEC18} &= \frac{0,69075 \times 2}{83} \\ &= 0,01664\end{aligned}$$

Tabel 4. 6: Indeks SAIFI dan SAIDI

KODE	PERHITUNGAN	$\lambda$	U	r	N	SAIFI	SAIDI
LP18(GDL01)	L1.GDL01.FCO01	0,028	0,11075	3,955357143	2		
A	LP18(GDL01).LP1	0,205	0,69075	3,369512195	2	0,004939759	0,016644578

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 RDT03-022/B001 dan trafo 3 fasa 160kVA dengan No. Tiang RDT03-022/B002.



Gambar 4. 2: Dua Trafo Terpasang Secara Serial

Seperti pada section 18 atau cabang 1, berdasarkan gambar15, 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 ( $\lambda$ ) 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 15 diatas, cabang 2 merupakan node serial yang memiliki dua trafo distribusi sehingga untuk menghitung jumlah nilai laju kegagalan dan *unavailability* komponennya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\lambda_{LP19} &= 0,005 + 0,003 + 0,01 \\ &= 0,018\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}U_{LP19} &= 0,05 + 0,00075 + 0,03 \\ &= 0,08075\end{aligned}$$

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

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

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.

$$\lambda_B = 0,046 + 0,282$$

$$= 0,328$$

$$U_B = 0,1915 + 0,86$$

$$= 1,0515$$

Kemudian dapat dilakukan perhitungan SAIFI dan SAIDI sebagai berikut:

$$SAIFI_{SEC19} = \frac{0,328 \times 3}{83}$$

$$= 0,01185$$

$$SAIDI_{SEC19} = \frac{1,0515 \times 3}{83}$$

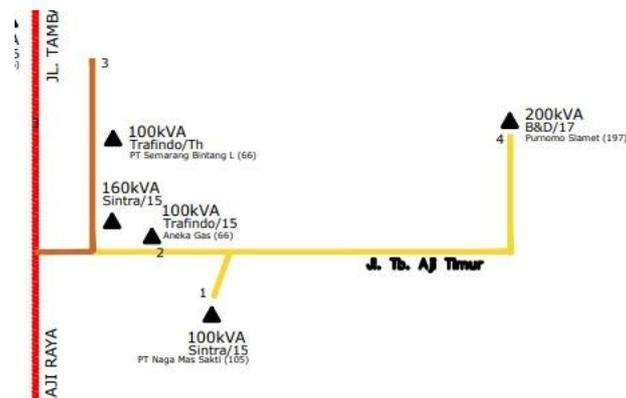
$$= 0,038$$

Tabel 4. 8: Laju Kegagalan dan Unavailability Section 19

KODE	PERHITUNGAN	$\lambda$	U	r	N	SAIFI	SAIDI
LP19(GDL02)	L2.GDL02.FCO02	0,018	0,08075	4,486111111	2		
LP20(GDL03)	L3.GDL03.FCO03	0,028	0,11075	3,955357143	1		
A	LP19.LP20	0,046	0,1915	4,163043478			
B	A.LP2	0,328	1,0515	3,205792683	3	0,011855422	0,038006024

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 RDT03-025/T001, 100kVA dengan nomor tiang RDT03-025/T001/U001, 100kVA dengan nomor tiang RDT03-025/T002, 100kVA dengan nomor RDT03-025/T003/S001 dan trafo 200kVA dengan nomor tiang RDT03-025/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 4.8 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 ( $\lambda$ ) 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 4.9 dibawah ini:

Tabel 4. 10: Indeks Laju Kegagalan dan Unavailability Section 20

ALAT	FAILURE RATE	P.U	$\lambda$	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 4.3 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:

$$\lambda_{LP21} = 0,005 + 0,003 + 0,01$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,018 \\
 U_{LP21} &= 0,05 + 0,00075 + 0,03 \\
 &= 0,08075
 \end{aligned}$$

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	$\lambda$	U	r
LP21(GDL04)	L4.GDL04.FCO04	0,018	0,08075	4,486111111
LP22(GDL05)	L5.GDL05.FCO05	0,038	0,14075	3,703947368
LP23(GDL06)	L6.GDL06.FCO06	0,018	0,08075	4,486111111
LP24(L7)	L7	0,01	0,03	3
LP25(GDL07)	L8.GDL07.FCO07	0,018	0,08075	4,486111111
LP26(GDL08)	L9.GDL08.FCO08	0,058	0,20075	3,461206897

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.

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

$$\begin{aligned}
 \lambda_{LP25/LP26} &= (0,018 \times 0,058) \times (4,4861 + 3,4612) \\
 &= 0,0082 \\
 U_{LP25/LP26} &= 0,08075 \times 0,20075 \\
 &= 0,01621
 \end{aligned}$$

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
 \lambda_{LP21.LP22} &= 0,018 + 0,038 \\
 &= 0,056 \\
 U_{LP21.LP22} &= 0,08075 + 0,14075 \\
 &= 0,2215
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \lambda_{B/C} &= (0,0362 \times 0,056) \times (0,8625 + 3,955) \\
 &= 0,00979 \\
 U_{LP25/LP26} &= 0,0313 \times 0,2215 \\
 &= 0,00639
 \end{aligned}$$

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.

$$\begin{aligned}
 \lambda_{D.LP2} &= 0,00979 + 0,282 \\
 &= 0,2917 \\
 U_B &= 0,00693 + 0,86 \\
 &= 0,8669
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 12: Hasil Perhitungan  $\lambda$ , U dan r

KODE	PERHITUNGAN	$\lambda$	U	r
LP21(GDL04)	L4.GDL04.FCO04	0,018	0,08075	4,486111111
LP22(GDL05)	L5.GDL05.FCO05	0,038	0,14075	3,703947368
LP23(GDL06)	L6.GDL06.FCO06	0,018	0,08075	4,486111111
LP24(L7)	L7	0,01	0,03	3
LP25(GDL07)	L8.GDL07.FCO07	0,018	0,08075	4,486111111
LP26(GDL08)	L9.GDL08.FCO08	0,058	0,20075	3,461206897
A	LP25//LP26	0,008297	0,016210563	1,953786007
B	A.LP24.LP23	0,036297	0,031309003	0,862578255
C	LP21.LP22	0,056	0,2215	3,955357143
D	B//C	0,00979309	0,006934944	0,708146702
E	D.LP2	0,29179309	0,866934944	2,971060573

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

$$\text{SAIFI}_{\text{SEC20}} = \frac{0,2917 \times 8}{83}$$

$$= 0,02812$$

$$\text{SAIDI}_{\text{SEC20}} = \frac{0,8669 \times 8}{83}$$

$$= 0,08355$$

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: HasilPerhitungan SAIFI dan SAIDI Section 18-34

CABANG	$\lambda$	U	N	SAIFI	SAIDI
CAB18	0,205	0,69075	2	0,005	0,01664458
CAB19	0,328	1,0515	3	0,012	0,03800602
CAB20	0,292	0,86693	8	0,028	0,08355999
CAB21	0,395	1,26075	2	0,01	0,03037952
CAB22	0,368	1,15049	14	0,062	0,19405886
CAB23	0,505	1,66075	2	0,012	0,04001807
CAB24	0,495	1,63075	2	0,012	0,03929518
CAB25	0,628	2,0915	5	0,041	0,14662386
CAB26	0,65	2,13075	2	0,016	0,05134337
CAB27	0,72	2,48075	1	0,009	0,02988855
CAB28	0,818	2,86075	1	0,01	0,03446687
CAB29	0,886	3,12075	1	0,011	0,0375994
CAB30	0,916	3,21075	1	0,011	0,03868373
CAB31	0,921	0,08075	1	0,011	0,00097289
CAB32	0,962	3,29479	3	0,035	0,11908869
CAB33	1,001	3,48075	1	0,012	0,04193675
CAB34	1,036	3,62075	1	0,012	0,04362349

#### 4.1.3 Indeks Keandalan Eksisting Penyulang RDT03

Lokasi letak recloser eksisting pada penyulang RDT03 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 RDT03

LP SECTION UTAMA	$\lambda$	U	N	$\lambda \times \#PLG$	U x #PLG
1	0,205	0,69075	2	0,41	1,3815
2	0,61979309	1,918434944	12	7,43751708	23,0212193
3	0,762526103	2,411241817	17	12,9629438	40,9911109
4	0,382	1,23	1	0,382	1,23
5	1	3,2915	6	6	19,749
6	1,278	4,22225	8	10,224	33,778
7	0,617	2,04	1	0,617	2,04
8	0,662	2,21	2	1,324	4,42
9	0,687	2,32	1	0,687	2,32
10	0,72	2,48075	2	1,44	4,9615
11	0,818	2,86075	2	1,636	5,7215
12	1,802	6,3315	4	7,208	25,326
13	0,921	0,08075	15	13,815	1,21125
14	0,961890623	3,294786976	4	3,84756249	13,1791479
15	1,001	3,48075	2	2,002	6,9615
16	1,036	3,62075	3	3,108	10,86225
17	1,046	3,77	1	1,046	3,77

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:

$$SAIFI = \frac{74,146}{83}$$

$$= 0,8933$$

$$SAIDI = \frac{200,9239}{83}$$

$$= 2,4207$$

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

#### 4.2 Optimalisasi 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  0  0.85  0  SAIFI = zeros(size(busdata, 1), 1);
2  200  0.5  1  SAIDI = zeros(size(busdata, 1), 1);
3  160  0.4  1  fitL = zeros(size(busdata, 1), 1);
4  160  0.05  1  node=[
5  50  0.45  2  18  0.004939759  0.016644578
6  50  0.6  1  19  0.011855422  0.038006024
7  100  0.05  1  20  0.028124635  0.083559995
8  100  0.2  2  21  0.009518072  0.030379518
9  100  0.1  1  22  0.061992355  0.194058861
10 100  0.05  1  23  0.012168675  0.040018072
11 160  0.4  1  24  0.011927711  0.039295181
12 100  0.35  2  25  0.037831325  0.125993976
13 50  0.15  14 26  0.015662651  0.051343373
14 160  0.25  1  27  0.008674699  0.029888554
15 100  0.05  1  28  0.009855422  0.034466867
16 160  0.2  2  29  0.010674699  0.037599398
17 160  0.1  1  30  0.011036145  0.038683735
  31  0.011096386  0.000972892
  32  0.034767131  0.119088686
  33  0.012060241  0.041936747
  34  0.012481928  0.043623494
];
];

```

### 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:

```

18.0000    0.0049    0.0166
19.0000    0.0119    0.0380
20.0000    0.0281    0.0836
21.0000    0.0095    0.0304
22.0000    0.0620    0.1941
23.0000    0.0122    0.0400
24.0000    0.0119    0.0393
25.0000    0.0378    0.1260
26.0000    0.0157    0.0513
27.0000    0.0087    0.0299
28.0000    0.0099    0.0345
29.0000    0.0107    0.0376
30.0000    0.0110    0.0387
31.0000    0.0111    0.0010
32.0000    0.0348    0.1191
33.0000    0.0121    0.0419
34.0000    0.0125    0.0436

Saifi total = 0.3284
Saidi total = 1.0651

Iteration 50, Best Param = 1 1 1 1 1 10 3 1 9 1 1
Best Saifi = 0.32575
Best Saifi = 0.32575
Best Fitness = 29.0758
Best Cost = 0.34393

```

Menurut hasil optimalisasi menggunakan PSO, maka didapatkan hasil bahwa Best Fitness untuk penempatan recloser yang paling optimal adalah pada section 29 dengan nilai SAIFI sebesar 0.32575 dan nilai SAIDI sebesar 1.0558. Jika dibandingkan dengan letak recloser existing, recloser existing terletak pada section yang sekarang memiliki nilai SAIFI sebesar 0,8933 dan SAIDI sebesar 2,407.

$$\begin{aligned}
 \text{Peningkatan SAIDI pada section 29 (-)} &= \text{SAIDI existing} - \text{SAIDI sec 29} \\
 &= 2,407 - 1,0558 \\
 &= 1,3512 \frac{\text{jam}}{\text{tahun}} / \text{pelanggan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Peningkatan SAIFI pada section 29 (-)} &= \text{SAIFI existing} - \text{SAIFI sec 29} \\
 &= 0,8933 - 0,32575 \\
 &= 0,5675 \frac{\text{kali}}{\text{tahun}} / \text{pelanggan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Presentase peningkatan SAIDI pada section 29} &= \frac{1,3512}{2,407} \times 100\% \\ &= 56,13\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Presentase peningkatan SAIFI pada section 29} &= \frac{0,5675}{0,8933} \times 100\% \\ &= 63,52\% \end{aligned}$$

Dengan demikian terdapat peningkatan keandalan jaringan jika recloser pada penyulang RDT03 direlokasi menuju lokasi section 29. Dengan menggunakan PSO, diperoleh lokasi letak recloser yang baru yaitu pada section 29 dan nilai SAIFI yang lebih optimal dengan penurunan sebesar 63,52% atau sebesar 0,5675 kali/tahun/pelanggan dan penurunan nilai SAIDI sebesar 56,13% atau sebesar 1,3512 jam/tahun/pelanggan.



## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Dari analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada optimalisasi penempatan recloser, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Penempatan recloser pada penyulang RDT03 di Kawasan Industri Tambak Aji yang paling optimal pada kondisi eksisting adalah pada section atau node 29.
2. Dari optimasi penempatan recloser dengan menggunakan algoritma PSO (*Particle Swarm Optimization*) didapatkan lokasi baru pada section 29 dengan nilai SAIFI sebesar 0.32575 dan nilai SAIDI sebesar 1.0558. Jika dibandingkan dengan letak recloser existing, recloser existing memberikan nilai SAIFI sebesar 0,8933 dan SAIDI sebesar 2,407.
3. Nilai SAIFI lebih optimal dengan penurunan sebesar 63,52% atau sebesar 0,5675 kali/tahun/pelanggan dan penurunan nilai SAIDI sebesar 56,13% atau sebesar 1,3512 jam/tahun/pelanggan.

### **5.2 Saran**

Berikut beberapa saran dari penelitian yang sudah dilakukan:

1. Perlu adanya pengembangan metode lain agar hasil dari optimasi dapat dibandingkan dan diperoleh hasil yang paling optimal
2. Perlu dilakukan analisis yang lebih mendalam dengan mengikutsertakan komponen komponen lainnya yang ada pada jaringan seperti arrester.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amirudin, M. Hasyim, Optimalisasi Keandalan Sistem Proteksi Feeder dengan Relay Penutup Balik (Auto Recloser) Pada Gardu Induk Tello, Gowa: *Jurnal Instek* Vol. 5, No. 1, 2020.
- Dinna Fitria, Arif Maulana, Analisis Pembagian Zona Proteksi Pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Meranti GI Bungaran Untuk Meningkatkan Pelayanan Ke Konsumen, Palembang: *Jurnal Ampere*, Volume 5, No 2, 2020
- D. Trebolle and B. Valecillos, "Optimal Operation of Paraleled Power Transformers," *Renew. Energy Power Qual. J.*, vol. 1, Mar. 2008, doi: 10.24084/repqj06.392.
- Fahrulrozi, Moch.; Suyono, Hadi & Lomi, Abraham (2019). Peningkatan Keandalan Sistem Distribusi dengan Relokasi Penempatan Fuse-Recloser Optimal karena Injeksi Pembangkit Tersebar, *Jurnal EECCIS* Vol. 13, No. 2, Agustus, pp.78-83, p-ISSN : 1978-3345, e-ISSN(Online): 2460-8122, <https://jurnaleeccis.ub.ac.id/>
- Hidayah, Nurul; Supriyatna dan Muljono, Agung Budi (2014). Analisis Manuver Jaringan Terhadap Keandalan Kontinuitas Penyaluran Tenaga Listrik Penyulang Di Area Ampenan [Analysis of Network Maneuvers Toward Continuity Reliability of Feeders Electric Power Transmission in Ampenan Area], *Dielektrika*, ISSN 2086-9487 109 Vol.3, No.1, pp.109 -115, Agustus.
- Khairul, Fadjri & Risfendra (2022), Evaluasi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV dan Energy Not Supplied (ENS) Pada GH Balai Selasa, *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia* Vol.3, No.1, 2022, pp.158-167, e-ISSN 2723-0589, DOI: <https://doi.org/10.24036/jtein.v3i1.226>
- Marsudi, D. (2006). Operasi Sistem Tenaga Listrik. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Putra, I Gede Wiyoga; Arjana, I Gede Dyana dan Setiawan, Widyadi (2020). Perancangan Penempatan Recloser Yang Optimum Menggunakan Metode *Quantum Genetic Algorithm* Di Penyulang Palapa, *Jurnal Spektrum*, Vol. 7, No. 4 Desember, pp.90-99.
- Senen, Adri ; Ratnasari, Titi & Anggaini, Dwi (2019), Studi Perhitungan Indeks Keandalan Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Graphical User Interface Matlab pada PT PLN (Persero) Rayon Kota Pinang, *Jurnal Ilmiah: Energi dan Kelistrikan*, Vol. 11, No. 2, Juli – Desember, pp.138-148, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042, <http://doi.org/10.33322/energi.v11i2.497>.
- Slamet Hani, Gatot Santoso, Penempatan Recloser Sebagai Parameter Keandalan Sistem Proteksi pada Sistem Distribusi, Yogyakarta: Simposium Nasional RAPI XVIII FT UMS, 2019.
- Wayan Sukadana, Nyoman Suartika, Optimalisasi LBS Motorized Key Point Pada Jaringan Distribusi 20 KV untuk Meningkatkan Keandalan Sistem, Bali: *Jurnal Tenik Elektro dan Vokasional*, Vol. 5, No. 1.1, 2019

Zahro, Hani Zulfia & Wahyuni, Febriani Santi (2020). Optimasi *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk Penentuan Base Transceiver System (BTS), Jurnal Mnemonic, Vol 3, No.1, Februari.

