

**ANALISA PENAMBAHAN RECLOSER DENGAN SKENARIO  
PECAH SECTION PADA PENYULANG NGULING ULP  
GRATI  
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



**DISUSUN OLEH:**

**LAILATUS SHOLICHAH**

**NIM 30602200181**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG  
SEPTEMBER 2024**

***FINAL PROJECT***

***ANALYSIS OF ADDING RECLOSER WITH SECTION BREAK  
SCENARIO ON NGULING ULP GRATI FEEDER***

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



**ARRANGED BY:**

**LAILATUS SHOLICHAH**

**NIM 30602200181**

**MAJORING INDUSTRIAL ENGINEERING  
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY  
SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY SEMARANG**

**SEPTEMBER 2024**

**ANALISA PENAMBAHAN RECLOSER DENGAN SKENARIO  
PECAH SECTION PADA PENYULANG NGULING ULP  
GRATI  
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



DISUSUN OLEH:

**LAILATUS SHOLICHAH**

**NIM 30602200181**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG  
SEPTEMBER 2024**

***FINAL PROJECT***

***ANALYSIS OF ADDING RECLOSER WITH SECTION BREAK  
SCENARIO ON NGULING ULP GRATI FEEDER***

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



**ARRANGED BY:**

**LAILATUS SHOLICHAH**

**NIM 30602200181**

**MAJORING INDUSTRIAL ENGINEERING  
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY  
SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY SEMARANG**

**SEPTEMBER 2024**

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISA PENAMBAHAN RECLOSER DENGAN SKENARIO PECAH SECTION PADA PENYULANG NGULING ULP GRATI” ini disusun oleh:

Nama : Lailatus Sholichah  
NIM : 30602200181  
Program Studi : Teknik Elektro

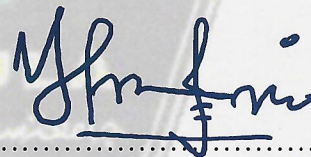
Telah disahkan oleh Dosen Pembimbing pada:

Hari : Jum'at  
Tanggal : 01 November 2024

Pembimbing

Tanda Tangan

Ir. Ida Widiastuti, M.T.  
NIDN. 0005036501



Mengetahui,

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





## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISA PENAMBAHAN RECLOSER DENGAN SKENARIO PECAH SECTION PADA PENYULANG NGULING ULP GRATI” ini telah dipertahankan di depan Dosen Penguji Tugas Akhir pada:

Hari : Jum'at  
Tanggal : 01 November 2024

**Ketua Penguji**

**Tanda Tangan**

Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo, M.T.

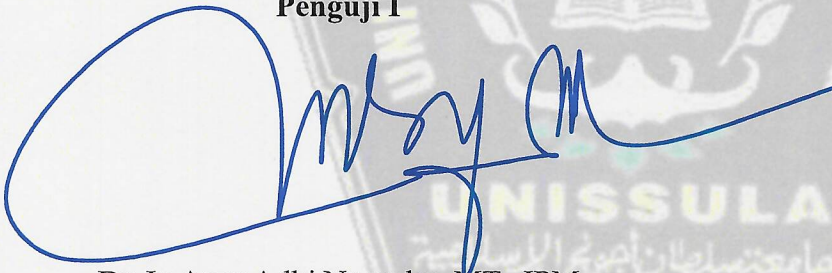
NIDN. 0619076401



**Penguji I**

Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT., IPM

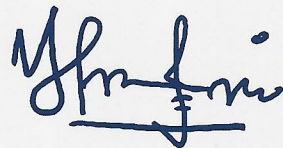
NIDN. 0628086501



**Penguji II**

Ir. Ida Widiastuti, M.T

NIDN. 0005036501



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Lailatus Sholichah  
NIM : 30602200181  
Judul Tugas Akhir : ANALISA PENAMBAHAN RECLOSER  
DENGAN SKENARIO PECAH SECTION  
PADA PENYULANG NGULING ULP GRATI

Dengan bahwa ini saya menyatakan bahwa judul da isi Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro tersebut adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan oleh siapapun baik keseluruhan maupun sebagian, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka, dan apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa judul Tugas Akhir tersebut pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 21 September 2024

Yang Menyatakan,



Lailatus Sholichah



## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Lailatus Sholichah  
NIM : 30602200181  
Program Studi : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknologi Industri  
Alamat Asal :

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul: **ANALISA PENAMBAHAN RECLOSER DENGAN SKENARIO PECAH SECTION PADA PENYULANG NGULING ULP GRATI**

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, 21 September 2024

Yang Menyatakan,



Lailatus Sholichah



## HALAMAN PERSSEMBAHAN

Puja dan puji syukur kepada Allah SWT atas nikmat iman, sehat, dan akal yang diberikan kepada saya. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Baginda Rasulullah Muhammad SAW, semoga kita diberikan keberkahan dan mendapatkan syafa'at Beliau di Yaumul Akhir.

Dengan diselesaikannya Tugas Akhir ini, penulis mempersembahkan ucapan terima kasih kepada:

1. Orang tua, atas segala do'a dan semangat yang selalu diberikan.
2. Keluarga, atas dukungan dan motivasi yang diberikan.
3. Bapak/Ibu Dosen Pembimbing atas kesabaran dan bantuan yang diberikan semasa penelitian berlangsung.



## HALAMAN MOTTO

خَيْرُ النَّاسِ أَنْفَعُهُمُ لِلنَّاسِ

**Artinya:** “Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia.”  
(HR.Ahmad)



## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji bagi Allah SWT atas berkah, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan Laporan Akhir dengan judul **“ANALISA PERENCANAAN PENAMBAHAN RECLOSER DENGAN SKENARIO PECAH SECTION PADA PENYULANG NGULING ULP GRATI”** sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Strata I Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung.

Dalam penyusunan Laporan Akhir ini, kami mendapatkan bantuan berupa bimbingan, pengarahan, dan motivasi dari berbagai pihak baik secara moral maupun spiritual. Oleh karena itu, kami menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua Orang tua beserta seluruh keluarga yang telah memberikan doa dan dukungan selama proses pembuatan Laporan Akhir.
2. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu memberikan dukungan

Penulis menyadari bahwa di dalam laporan akhir ini masih terdapat beberapa kekurangan dikarenakan terbatasnya pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala bentuk saran dan kritik yang membangun dari berbagai pihak. Penulis mohon maaf apabila ada kata-kata atau tulisan yang kurang berkenan di hati pembaca. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Semarang, 21 September 2024

Lailatus Sholichah



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL 1 .....	1
HALAMAN JUDUL 2 .....	2
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING .....	3
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI .....	4
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	5
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	6
HALAMAN PERSSEMBAHAN .....	vii
HALAMAN MOTTO .....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GRAFIK .....	xvi
ABSTRAK .....	xvii
<i>ABSTRACT</i> .....	xviii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan.....	3
1.5. Manfaat .....	3
1.6. Penulisan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	5
2.1. Tinjauan Pustaka .....	5
2.2. Dasar Teori .....	7
2.2.1. Tipe Jaringan Distribusi .....	9
2.2.2. Gangguan pada Penyulang.....	17
2.2.3. Pengaman Sistem Tenaga Listrik .....	22
2.2.4. Peralatan Sistem Proteksi Jaringan Distribusi.....	23

2.2.5.	Pembebanan Penyulang .....	30
2.2.6.	Keandalan dan Mutu Sistem Distribusi.....	31
2.2.7.	Energi dan Perhitungan kWh yang Hilang.....	35
BAB III METODE PENELITIAN.....		36
3.1.	Metode Pengumpulan Data.....	36
3.1.1.	Waktu dan Tempat Pelaksanaan .....	36
3.2.	Proses Pengumpulan Data.....	36
3.2.1.	Studi Literatur .....	36
3.2.2.	Observasi Lapangan.....	36
3.2.3.	Wawancara .....	37
3.3.	Jenis Penelitian.....	37
3.4.	Jenis Data Penelitian .....	37
3.5.	Bagan Alur Pengerjaan Laporan Akhir .....	38
3.6.	Deskripsi dan Data .....	39
BAB IV DATA DAN ANALISA .....		42
4.1.	Karakteristik Penyulang Nguling.....	42
4.2.	Analisa Gangguan pada Penyulang Nguling dan Peta Sebaran Wilayah Rawan Gangguan .....	43
4.3.	Uraian Penempatan Recloser Saat Ini .....	46
4.3.1.	Penempatan Recloser Saat Ini di Penyulang Nguling .....	46
4.3.3.	Perhitungan SAIDI SAIFI Transline Penyulang Nguling.....	51
4.4.	Skenario Penempatan Recloser Baru di Penyulang Nguling .....	57
4.5.	Perhitungan Setting Recloser .....	59
4.5.1.	Data Peralatan .....	59
4.5.2.	Perhitungan Arus Hubung Singkat .....	61
4.5.3.	Perhitungan Impedansi .....	61
4.5.6.	Recloser Prokimal.....	70
4.5.7.	Recloser Baru.....	70
4.6.	Perhitungan SAIDI SAIFI Setelah Pemasangan Recloser Baru .....	71
4.7.	Analisis Jumlah Pelanggan dan kWh Jual yang Terselamatkan Setelah Pemasangan Recloser Baru.....	74

BAB V PENUTUP.....	78
5.1. Kesimpulan .....	78
5.2. Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA.....	80





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komponen Sistem Distribusi (John S. Parsons 1964).....	8
Gambar 2. 2 Sistem Jaringan Radial Terbuka (Siswanto, 2009).....	11
Gambar 2. 3 Sistem Jaringan Radial Paralel (Siswanto,2009).....	12
Gambar 2. 4 Sistem Jaringan Tertutup (Siswanto,2009).....	13
Gambar 2. 5 Sistem Jaringan Network/Mesh (Siswanto, 2009) .....	15
Gambar 2. 6 Sistem Jaringan Interkoneksi (Siswanto,2009) .....	17
Gambar 2. 7 Diagram Multilayers Structure (Horowitz,2014) .....	23
Gambar 2. 8 Single-shot Reclosing Relay (Badarudin,2016).....	29
Gambar 2. 9 Multi-shot Reclosing Relay (Badarudin,2016) .....	29
Gambar 2. 10 Pemasangan Recloser pada Jaringan Radial (Badarudin,2016)....	30
Gambar 3. 1 Diagram Alir.....	38
Gambar 3. 2 Data Spesifikasi Jaringan Tegangan Rendah.....	39
Gambar 3. 3 Data Spesifikasi Jaringan Tegangan Menengah.....	40
Gambar 3. 4 Data Kegagalan <i>Recloser A</i> .....	40
Gambar 3. 5 Data Kegagalan <i>Recloser B</i> .....	40
Gambar 3. 6 Data Rekap ULP Grati .....	41
Gambar 3. 7 Single Line Penyulang Nguling .....	41
Gambar 4. 1 Peta Rawan Gangguan Penyulang Nguling .....	45
Gambar 4. 2 Transline Penyulang Nguling.....	46
Gambar 4. 3 Single Line Diagram Penyulang Nguling .....	47
Gambar 4. 4 Transline Skenario Peletakan Recloser .....	58
Gambar 4. 5 Peta Peletakan Recloser .....	58

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Indeks Angka Keluar .....	33
Tabel 2. 2 Indeks Waktu tij.....	34
Tabel 4. 1 Spesifikasi Trafo Penyulang Nguling.....	42
Tabel 4. 2 Pembebanan Penyulang Nguling, Data A .....	43
Tabel 4. 3 Pembebanan Penyulang Nguling, Data B .....	44
Tabel 4. 4 Pembebanan Penyulang Nguling .....	48
Tabel 4. 5 Perhitungan SAIFI.....	52
Tabel 4. 6 Indeks Angka Keluar .....	52
Tabel 4. 7 Perhitungan SAIDI .....	54
Tabel 4. 8 Waktu Operasi Kerja .....	54
Tabel 4. 9 Target SAIDI SAIFI sesuai SPLN 68-2 : 1986 .....	56
Tabel 4. 10 Target SAIDI SAIFI Penyulang Nguling .....	56
Tabel 4. 11 Nilai SAIDI SAIFI Penyulang Nguling .....	57
Tabel 4. 12 Data Trafo 1 GI Grati .....	59
Tabel 4. 13 Data Relay OCR dan GFR Incoming 150kV .....	59
Tabel 4. 14 Data Relay OCR dan GFR Outgoing 20kV .....	59
Tabel 4. 15 Data Relay Recloser Prokimal dan Recloser Baru.....	60
Tabel 4. 16 Data Penyulang Nguling 20Kv dengan SKTM.....	60
Tabel 4. 17 Data Penyulang Nguling AAAC .....	60
Tabel 4. 18 Data Penyulang Nguling 20Kv AAAC-S.....	60
Tabel 4. 19 Saluran positif dan negatif.....	63
Tabel 4. 20 Impedansi Penyulang ( $Z_1$ dan $Z_2$ ).....	63
Tabel 4. 21 Impedansi Penyulang ( $Z_0$ ) .....	63
Tabel 4. 22 Setting Relay OCR.....	69
Tabel 4. 23 Setting Relay GFR .....	71
Tabel 4. 24 Perhitungan SAIFI Setelah Pemasangan Recloser .....	72
Tabel 4. 25 Perhitungan SAIDI Setelah Pemasangan Recloser .....	72
Tabel 4. 26 SAIDI SAIFI Setelah Pemasangan Recloser .....	73
Tabel 4. 27 Data Jumlah Pelanggan dan kWh jual Penyulang Nguling.....	74

Tabel 4. 28 Data Jumlah Pelanggan dan kWh jual Penyulang Nguling – Lanjutan 1.....	75
Tabel 4. 29 Data Jumlah Pelanggan dan kWh jual Penyulang Nguling – Lanjutan 2.....	76
Tabel 4. 30 Data Awal kWh jual Penyulang Nguling .....	77
Tabel 4. 31 Data Perhitungan kWh jual Setelah Pemasangan Recloser.....	77





## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Grafik Perbandingan Nilai SAIFI sebelum-sesudah.....	73
Grafik 4. 2 Grafik Perbandingan Nilai SAIDI sebelum-sesudah.....	73



## ABSTRAK

PT. PLN (Persero) merupakan industri yang bergerak di bidang distribusi energi listrik. Seiring dengan perkembangan yang bertambah pesat, adapun upaya-upaya pemeliharaan dan peningkatan penting untuk dilakukan dalam hal mengoptimalkan daya guna distribusi. Salah satu suplai terbesar energi listrik di daerah Pasuruan atau UP3 Pasuruan adalah Penyulang Nguling. Jumlah pelanggan 24.333 menjadikan Penyulang Nguling sebagai salah satu sumber listrik dengan banyak gangguan, salah satunya sering terjadi pemadaman. Hal tersebut dikarenakan oleh penempatan atau konfigurasi peletakan *recloser* pada Penyulang Nguling kurang tepat. Peranan *recloser* dapat memicu aliran listrik dan meredam faktor pengganggu yang dapat berakibat fatal pada pemadaman area penduduk. Untuk menghasilkan hasil yang akurat, metode pecah *section* akan dilakukan untuk mengetahui hasil Arus Kuat pada setiap fasa. Selain dengan menggunakan pecah *section*, penentu indeks keberhasilan adalah melalui variabel target SAIDI SAIFI sesuai dengan SPLN 86-2: 1986. Beberapa skenario dapat diterapkan untuk mendapatkan hasil optimal dengan memperhatikan nilai kWh jual, SAIDI SAIFI, dan jumlah *section* area padam sebagai upaya meminimalkan area padam.

Penggabungan hasil analisis peletakan *recloser* pada Penyulang Nguling dengan tujuan mendeteksi kondisi gangguan dengan perhitungan tegangan menggunakan beberapa variabel tersebut, diharapkan dapat menjadi solusi yang mampu menghambat atau mengurangi area padam dan faktor terjadinya pemadaman. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwasannya penggunaan *recloser* dan penentuan konfigurasi memang sangat penting untuk meminimalkan area padam. Adanya perubahan pada nilai SAIDI SAIFI dan jumlah pelanggan yakni sebesar 17.2 jam/pelanggan dan 4.9 kali/pelanggan. Sebelum pemasangan *recloser*, persentase SAIDI adalah 43% dengan indeks 20.76, sedangkan persentase SAIFI adalah 11% dengan indeks 5.50. setelah dilakukan pemasangan *recloser* berdasarkan skenario pecah *section*, persentase SAIDI SAIFI mengalami penurunan, yakni: SAIDI 36% dengan indeks 17.24 dan SAIFI 10% dengan indeks 4.97. Hal tersebut menunjukkan bahwa target SAIDI SAIFI sebagai indikator pengukuran *recloser* pada Penyulang Nguling menjadi tepat guna untuk menentukan keandalan sistem.

**Kata Kunci:** *Recloser*, Pecah *Section*, Penyulang Nguling, SAIDI, SAIFI

## **ABSTRACT**

*PT. PLN (Persero) is an industry engaged in the distribution of electrical energy. Along with the rapid development, there are important maintenance and improvement efforts to be carried out in order to optimize distribution efficiency. One of the largest suppliers of electrical energy in the Pasuruan area or UP3 Pasuruan is the Nguling Feeder. The number of customers of 24,333 makes the Nguling Feeder one of the sources of electricity with many disturbances, one of which is frequent blackouts. This is due to the placement or configuration of the recloser placement on the Nguling Feeder being less than ideal. The role of the recloser can trigger electric current and reduce disturbing factors that can have fatal consequences for blackouts in residential areas. To produce accurate results, the section break method will be carried out to determine the results of the Strong Current in each phase.*

*In addition to using section breaks, the determinant of the success index is through the SAIDI SAIFI target variable in accordance with SPLN 86-2: 1986. Several scenarios can be applied to obtain optimal results by considering the kWh sales value, SAIDI SAIFI, and the number of blackout area sections as an effort to minimize blackout areas. The combination of the results of the recloser placement analysis on the Nguling Feeder with the aim of detecting disturbance conditions with voltage calculations using several variables is expected to be a solution that can inhibit or reduce the blackout area and the factors that cause blackouts. The results of the study indicate that the use of reclosers and determining the configuration are indeed very important to minimize the blackout area. There are changes in the SAIDI SAIFI value and the number of customers, namely 17.2 hours/customer and 4.9 times/customer. Before the recloser was installed, the SAIDI percentage was 43% with an index of 20.76, while the SAIFI percentage was 11% with an index of 5.50. After the recloser was installed based on the section rupture scenario, the SAIDI SAIFI percentage decreased, namely: SAIDI 36% with an index of 17.24 and SAIFI 10% with an index of 4.97. This shows that the SAIDI SAIFI target as an indicator for measuring reclosers on the Nguling Feeder is appropriate for determining system reliability.*

**Keywords:** *Recloser, Broken Section, Rolling Feeder, SAIDI, SAIFI*

## **BAB I**

### **PENDALUHUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Grati yang berada dibawah Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Pasuruan Unit Induk Distribusi Jawa Timur bertanggung jawab atas kontinuitas energi listrik 7 penyulang salah satunya adalah Penyulang Nguling. Penyulang Nguling menyalurkan energi ke 24.333 pelanggan meliputi 96 gardu distribusi umum dan 6 pelanggan TM (Tegangan Menengah) dengan total beban rata-rata 183 Ampere. Penyulang Nguling memiliki panjang saluran berkisar 76,828 kms yang disupply oleh Trafo 1 union dengan daya 60 MVA dengan penurunan tegangan 150/20kV.

Salah satu penyulang yang sering mengalami gangguan adalah Penyulang Nguling. Dari data gangguan yang ada di ULP Grati, selama periode tahun 2023-2024 bulan maret terjadi gangguan sebanyak 24 kali yang menyebabkan Recloser Prokimal sebagai pembatas di Zona 1 lepas.

Berdasarkan ANSI/IEEE Std. 100-1992 gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. Gangguan hampir selalu ditimbulkan oleh hubung singkat antar fase atau hubung singkat fase ke tanah.

Akibat dari gangguan yang menyebabkan pemadaman tersebut, target kWh beli dan kWh jual ULP Grati menjadi tidak sesuai, diikuti naiknya nilai SAIDI SAIFI dan area yang terdampak pemadaman menjadi luas. Terdapat sebuah solusi teknis untuk menangani gangguan tersebut, dengan penambahan alat Proteksi yaitu Recloser dengan skenario pecah section, penambahan ini didasarkan dengan alasan untuk memenuhi target kWh beli dan kWh jual di ULP Grati, juga memperbaiki SAIDI SAIFI serta mempersempit area pemadaman.

Recloser pada dasarnya adalah pemutus tenaga yang dilengkapi dengan peralatan kontrol. Peralatan ini dapat merasakan arus gangguan dan memerintahkan operasi buka tutup kepada pemutus tenaga secara otomatis dengan selang waktu yang dapat diatur sesuai dengan setting intervalnya. Untuk jaringan yang panjang



(>20 km) perlu dipasang 2 atau lebih PBO pada jarak tertentu dengan koordinasi yang baik, agar gangguan yang terjadi dapat segera dibebaskan. Peletakan Recloser didasari oleh letak titik gangguan dan panjang saluran. Dengan panjang saluran Penyulang Nguling yang mencapai 76,828 kms tentunya perlu dipasang Recloser untuk memperbaiki keandalan sistem. Peletakan Recloser didasari oleh letak titik gangguan dan panjang saluran. Nantinya, perubahan sistem yang terjadi akan di simulasikan dengan skenario Pecah Section yang digunakan untuk meminimalkan area yang padam dan melindungi sistem dibawahnya.

Menurut penjelasan diatas mengenai penanganan gangguan hubung singkat yang akan difokuskan pada perbaikan target KWh beli dan KWh jual, perbaikan SAIDI SAIFI dan meminimalkan area padam dengan solusi penambahan Recloser, maka timbul sebuah ide Laporan Akhir yang berjudul **“ANALISA PENAMBAHAN RECLOSER DENGAN SKENARIO PECAH SECTION PADA PENYULANG NGULING ULP GRATI”**.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

- 1) Bagaimana kondisi awal sebelum penambahan Recloser pada Penyulang Nguling ketika mengalami gangguan?
- 2) Bagaimana skenario kontruksi peletakan recloser untuk perbaikan KWh jual, SAIDI SAIFI, dan jumlah section area padam sebagai upaya meminimalkan area padam?
- 3) Bagaimana kondisi KWh jual, SAIDI SAIFI, dan jumlah *section* area padam pada Penyulang Nguling setelah penambahan *Recloser*?

### **1.3. Batasan Masalah**

Berdasarkan judul yang telah ditentukan, adapun batasan masalah yang ditetapkan adalah sebagai berikut:

- 1) Laporan Akhir membahas solusi gangguan yang terjadi di Penyulang Nguling dengan penambahan alat proteksi berupa *Recloser*.
- 2) Laporan Akhir membahas optimalisasi kinerja *relay* OCR dan DGR pada proteksi *recloser*.

- 3) Laporan Akhir membahas perbaikan SAIDI SAIFI, KWh jual, dan jumlah section padam setelah penambahan *Recloser*.
- 4) Laporan Akhir tidak membahas arus hubung singkat.
- 5) Laporan Akhir tidak membahas *drop* tegangan dan *losses*.

#### 1.4. Tujuan

Berdasarkan judul yang telah ditentukan, adapun tujuan yang ditetapkan adalah sebagai berikut:

- 1) Menghitung jumlah KWh jual, SAIDI SAIFI, dan jumlah *section* area padam sebelum penambahan *recloser* pada Penyulang Nguling ketika mengalami gangguan menggunakan data perhitungan.
- 2) Mengusulkan skenario kontruksi peletakan *recloser* untuk perbaikan KWh jual, SAIDI SAIFI, dan jumlah *section* area padam.
- 3) Menganalisa kondisi KWh jual, SAIDI SAIFI, dan jumlah *section* area padam setelah penambahan *recloser* pada Penyulang Nguling menggunakan data perhitungan.

#### 1.5. Manfaat

Berdasarkan judul yang telah ditentukan, adapun manfaat yang ditetapkan adalah sebagai berikut:

- 1) Menghitung jumlah KWh jual, SAIDI SAIFI, dan jumlah *section* area padam sebelum penambahan *recloser* pada Penyulang Nguling ketika mengalami gangguan menggunakan data perhitungan.
- 2) Mengusulkan skenario kontruksi peletakan *recloser* untuk perbaikan KWh jual, SAIDI SAIFI, dan jumlah section area padam.
- 3) Menganalisa kondisi KWh jual, SAIDI SAIFI, dan jumlah *section* area padam setelah penambahan *recloser* pada Penyulang Nguling menggunakan data perhitungan.

#### 1.6. Penulisan

Sistematika penulisan terdiri atas beberapa bab, antara lain:

BAB I : PENDAHULUAN

Merupakan bab yang berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan masalah dan sistematika penulisan tugas akhir/skripsi.

**BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Merupakan bab tinjauan pustaka yang berisi teori dasar tentang sistem distribusi dan transmisi, impedansi, arus hubungan singkat, proteksi pada jaringan distribusi, proteksi pada transformator.

**BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

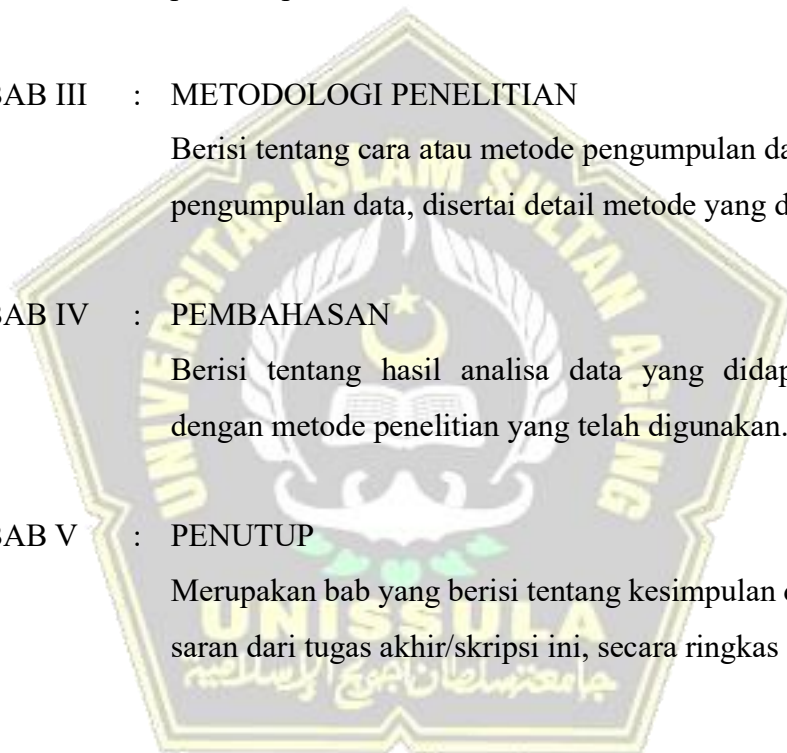
Berisi tentang cara atau metode pengumpulan data, proses pengumpulan data, disertai detail metode yang digunakan.

**BAB IV : PEMBAHASAN**

Berisi tentang hasil analisa data yang didapat sesuai dengan metode penelitian yang telah digunakan.

**BAB V : PENUTUP**

Merupakan bab yang berisi tentang kesimpulan dan saran-saran dari tugas akhir/skripsi ini, secara ringkas dan jelas.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

### 2.1. Tinjauan Pustaka

Penyusunan penelitian ini mengacu pada beberapa penelitian atau makalah yang membahas tentang solusi teknis untuk menangani gangguan pada penyulang dan *recloser* seperti berikut: Penelitian dengan judul Studi Tentang Analisis Keandalan Penempatan Recloser Dan Besar Arus Hubung Singkat di PT. PLN (Persero) Distribusi Area Yogyakarta yang disusun oleh [1]. Dasar dari penelitian tersebut adalah Studi Tentang Penggunaan Recloser pada Sistem Jaringan Distribusi oleh [2] yang menyebutkan adanya *recloser* sebagai alat proteksi. Penelitian ini membahas tentang penggunaan *Recloser* yang efektif dalam menangani gangguan yang menyebar pada penyulang sistem distribusi dengan kesimpulan bahwa *recloser* adalah salah satu alat proteksi yang efektif dalam menangani gangguan sistem distribusi. Metode yang digunakan ialah menganalisis kinerja *Recloser* saat terjadi gangguan pada sistem 20kV, disebutkan bahwa *Recloser* ini mampu menangani atau membatasi jumlah section gangguan pada suatu penyulang. Dari analisis inilah dapat disimpulkan bahwa *Recloser* merupakan salah satu alat proteksi yang efektif dalam mengurangi jumlah *section* padam.

Penelitian dengan judul Sistem Distribusi Tenaga Listrik yang dibuat oleh Ir. Abdul Hadi. Penelitian ini membahas secara keseluruhan sistem pendistribusian tenaga listrik 20 kV mulai dari keluaran Gardu Induk hingga menuju pelanggan dimana telah dibahas juga mengenai sistem proteksi yang salah satu disebutkan adalah cara kerja *Recloser* secara umum. Metode yang digunakan adalah menjelaskan secara keseluruhan mengenai sistem penyaluran distribusi. Sehingga bisa disimpulkan bahwa *Recloser* adalah salah satu alat proteksi sistem distribusi yang handal.

Penelitian dengan judul Peningkatan Indek Keandalan Dengan Penambahan *Recloser* Pada Sistem Distribusi di PLTD Subaim Menggunakan Metode Section Technique yang dibuat oleh M. Rizal Sanaki. Penelitian ini membahas tentang optimalisasi penggunaan *Recloser* sebagai salah satu alat proteksi pada sistem distribusi dan penanganan gangguan pada penyulang. Metode yang digunakan juga



menjelaskan mengenai sistem pecah *section* yang efektif dalam penanganan pemadaman yang menyebar khususnya dalam sistem radial. Sehingga penelitian yang membahas mengenai keandalan distribusi khususnya alat proteksi seperti recloser dan analisa pecah section bisa digunakan sebagai acuan dalam makalah ini.

Penelitian dengan judul Analisa Kerja Recloser Tipe VWVE Merek Cooper di Wilayah PT. PLN (Persero) ULP Surakarta yang dibuat oleh Muhammad Qomarrudin Ma'sum dari Universitas Negeri Semarang. Penelitian ini membahas tentang salah satu kerja Recloser pada salah satu penyulang di sistem distribusi 20kV. Metode yang digunakan dalam makalah ini adalah dengan membandingkan cara kerja recloser tipe VWVE dengan tipe yang lain yang bisa disimpulkan bahwa kinerja recloser sangat efektif diberbagai tipenya, sehingga dalam makalah ini bisa mengangkat bahwa recloser adalah salah satu alat proteksi yang efektif.

Penelitian dengan judul Pembagian Jaringan Distribusi dan Sistem Proteksi yang dibuat oleh A. Muhaimin dari Universitas Gajah Mada. Penelitian ini juga membahas tentang kinerja secara keseluruhan mengenai pembagian jaringan dan sistem proteksi distribusi. Metode yang digunakan dalam makalah ini adalah menjabarkan secara keseluruhan mengenai peralatan lengkap yang ada di jaringan distribusi dimana pembahasan peralatan proteksi yang cukup lengkap salah satunya adalah recloser.

Penelitian dengan judul Sistem Distribusi Tenaga Listrik yang dibuat oleh Suswanto dari Universitas Negeri Padang. Penelitian ini membahas mengenai secara keseluruhan sistem pendistribusian tenaga listrik 20kV lengkap dengan sistem proteksinya. Metode yang digunakan ialah membahas secara keseluruhan sistem pendistribusian tenaga listrik 20 kV mulai dari keluaran Gardu Induk hingga menuju pelanggan dimana telah dibahas juga mengenai sistem proteksi yang mana disebutkan salah satu faktor keandalan jaringan distribusi adalah dari peralatan PMT dan PMS. Sehingga bisa disimpulkan bahwa Recloser adalah salah satu alat proteksi yang efektif.

Penelitian dengan judul Proteksi Sistem Tenaga Listrik yang dibuat oleh Tasian. Penelitian ini membahas mengenai Sistem Proteksi Distribusi salah satunya adalah optimalisasi kinerja Recloser. Metode yang digunakan adalah dengan

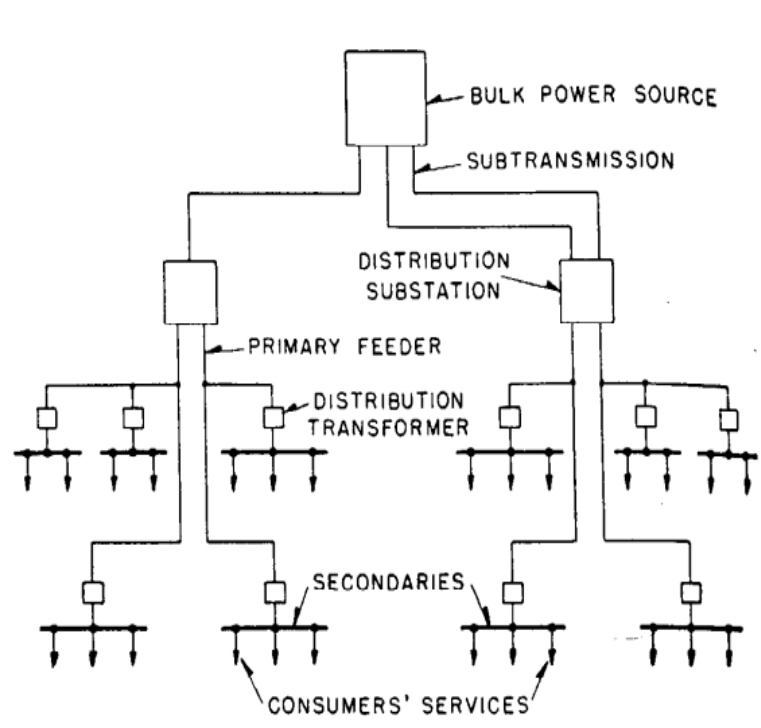
pengaplikasian dalam aplikasi ETAP [3] yang bisa disimpulkan bahwa penggunaan alat proteksi dalam jaringan distribusi sangat diperlukan untuk mendukung penyaluran sistem ketenagalistrikan terutama pendistribusian menuju pelanggan. Sistem proteksi yang dimaksud adalah berbagai macam bentuk, mulai dari pemutus atau breaker dan pemisah, maka disimpulkan bahwa *recloser* menjadi salah satu komponen penting dalam proteksi sistem distribusi.

## 2.2. Dasar Teori

Sistem tenaga listrik mempunyai tiga komponen penting yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. Ketiga sistem tersebut erat kaitannya dalam kegiatan penyediaan dan penyaluran energi listrik kepada konsumen energi listrik. PT. PLN (Persero) sebagai satu-satunya perusahaan penyedia energi listrik di Indonesia bertugas untuk menjamin penyediaan energi listrik dalam jumlah dan mutu memadai. Maka dari itu sistem distribusi menjadi salah satu komponen yang penting dalam penyediaan listrik di Indonesia. "*Electric power distribution is the portion of the power delivery infrastructure that takes the electricity from the highly meshed, high-voltage transmission circuits and delivers it to customers,*" [4]. Berdasarkan kutipan tersebut, sistem distribusi tenaga listrik adalah bagian dari infrastruktur pengiriman tenaga yang mengambil listrik dari rangkaian transmisi tegangan tinggi dan mengirimkannya ke pelanggan. Gardu distribusi terhubung ke sistem transmisi yang kemudian menurunkan tegangannya menggunakan transformator. Jaringan pendistribusian terdiri dari Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR), maka dari itu sistem distribusi dibagi menjadi dua bagian yaitu distribusi primer dan distribusi sekunder.

Sistem jaringan distribusi primer atau sering disebut jaringan distribusi tegangan tinggi (JDTT) ini terletak antara Gardu Induk dengan Gardu Pembagi yang memiliki tegangan sistem lebih tinggi dari tegangan terpakai untuk konsumen. Standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 6kV, 10kV dan 20kV. Sedangkan sistem jaringan distribusi sekunder atau sering disebut jaringan distribusi tegangan rendah (JDTR), merupakan jaringan yang berfungsi sebagai penyalur tenaga listrik dari gardu-gardu pembagi (gardu distribusi) ke pusat-pusat

beban (konsumen tenaga listrik). Besarnya standar tegangan untuk jaringan distribusi sekunder ini adalah 127/220V untuk sistem lama dan 220/380V untuk sistem baru serta 440/550V untuk keperluan Industri.



**Gambar 2. 1** Komponen Sistem Distribusi (John S. Parsons 1964)

Sistem distribusi energi listrik memiliki berbagai konfigurasi dan sirkit yang berbeda panjangnya, serta memiliki karakteristik yang berbeda dengan sistem pembangkitan maupun sistem transmisi. Salah satu komponen sistem distribusi yang tidak dimiliki sistem yang lainnya adalah penyulang. Menurut [4], “*A feeder is one of the circuits out of the substation. The main feeder is the three-phase backbone of the circuit, which is often called the mains or mainline. The mainline is normally a modestly large conductor such as a 500- or 750-kcmil aluminum conductor.*”. Berdasarkan hal tersebut maka dapat disimpulkan bahwa penyulang adalah sirkit keluaran dari gardu induk yang menjadi batas dengan sistem sebelumnya dan sebagai komponen utama dalam sistem pendistribusian energi listrik. Untuk selanjutnya energi listrik akan disalurkan dari Gardu Induk menuju Gardu Distribusi sebesar 20kV. Untuk pelanggan yang tidak melalui gardu

distribusi (pelanggan khusus) mendapatkan suplai energi listrik dengan tegangan menengah 20kV secara langsung.

### **2.2.1. Tipe Jaringan Distribusi**

Sistem distribusi primer bergungsi untuk menyalurkan energi listrik dari gardu distribusi ke pusat-pusat beban. Sistem ini berupa kabel udara, saluran udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Ada macam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer, antara lain:

#### **2.2.1.1.Radial**

Tipe jaringan Radial merupakan bentuk dasar, paling sederhana dan paling banyak digunakan. Dinamakan radial karena daya saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik sumber jaringan itu kemudian dibagi dalam bentuk cabang kesetiap titik beban. Tipe jaringan ini terdapat satu saluran antara titik sumber dan titik bebannya. Percabangan yang diakibatkan dari jaringan tersebut mengakibatkan arus beban yang mengalir di saluran tidak sama besar. Maka dari itu luas penampang pada jaringan radial ukurannya berbeda. Saluran paling dekat dengan sumber arus bebannya lebih besar sehingga penampang yang digunakan lebih besar dari pada penampang pada saluran cabang.

Berdasarkan bentuk jaringannya, menurut menurut Daman Suswanto pada Bukunya yang berjudul Sistem Distribusi Tenaga Listrik tahun 2009, klasifikasi jaringan distribusi tipe radial dibedakan menjadi 2, yaitu:

#### **A. Sistem Radial Terbuka**

Kelebihan:

- a) Konstruksinya lebih sederhana.
- b) Material yang digunakan lebih sedikit, sehingga lebih murah.
- c) Sistem pemeliharaannya lebih murah.
- d) Untuk penyaluran jarak pendek akan lebih mudah.

Kelemahan:

- a) Keterandalan sistem ini lebih rendah.
- b) Faktor penggunaan konduktor 100%.
- c) Makin panjang jaringan, kondisi tegangan tidak dapat diandalkan.

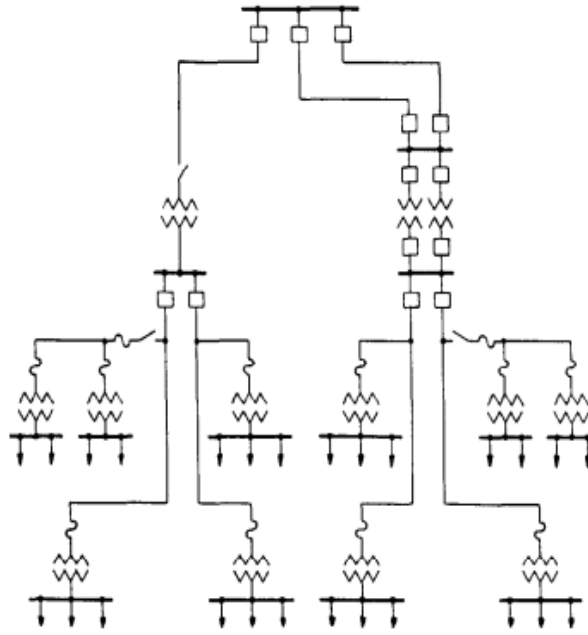


- d) Rugi-rugi tegangan lebih besar.
- e) Kapasitas pelayanan terbatas.
- f) Bila terjadi gangguan penyaluran daya terhenti.

Sistem radial pada jaringan distribusi merupakan sistem terbuka, dimana tenaga listrik yang disalurkan secara radial melalui gardu induk ke konsumen-konsumen dilakukan secara terpisah satu sama lain. Sistem ini merupakan sistem yang paling sederhana diantara sistem lainnya dan paling murah, sebab sesuai konstruksinya sistem ini menghendaki sedikit sekali penggunaan material listrik, apalagi jika jarak penyaluran antara gardu induk ke konsumen tidak terlalu jauh.

Sistem radial terbuka ini paling tidak dapat diandalkan, karena penyaluran tenaga listrik hanya dilakukan dengan menggunakan satu saluran saja. Jaringan model ini sewaktu mendapat gangguan akan menghentikan penyaluran tenaga listrik cukup lama sebelum gangguan tersebut diperbaiki kembali. Oleh sebab itu, kontinuitas pelayanan pada sistem radial terbuka ini kurang bisa diandalkan.

Selain itu makin panjang jarak saluran dari gardu induk ke konsumen, kondisi tegangan makin tidak bisa diandalkan, justru bertambah buruk karena rugi-rugi tegangan akan lebih besar. Berarti kapasitas pelayanan untuk sistem radial terbuka ini sangat terbatas.



Gambar 2. 2 Sistem Jaringan Radial Terbuka (Siswanto, 2009)

## B. Sistem Radial Paralel

Kelebihan:

- a) Kontinuitas pelayanan lebih terjamin (menggunakan 2 sumber).
- b) Dapat melayani beban maksimum.
- c) Kedua saluran dapat melayani titik beban secara bersama.
- d) Dapat menyalurkan daya listrik melalui dua saluran.

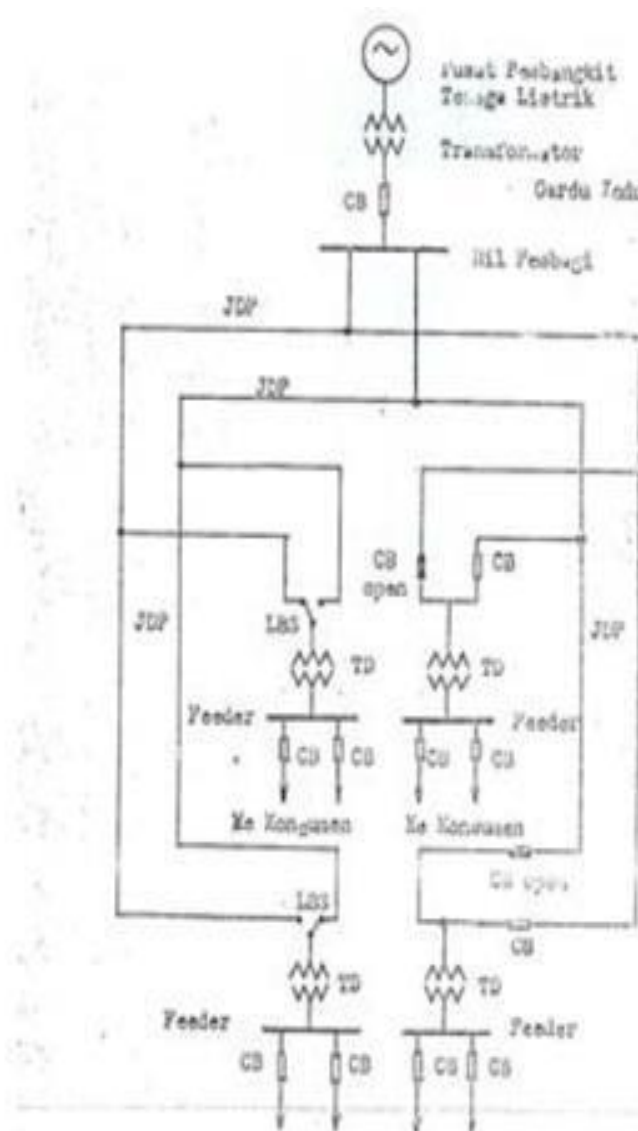
Kelemahan:

- a) Keterandalan sistem ini lebih rendah.
- b) Faktor penggunaan konduktor 100%.
- c) Makin panjang jaringan, kondisi tegangan tidak dapat diandalkan.
- d) Rugi-rugi tegangan lebih besar.
- e) Kapasitas pelayanan terbatas.
- g) Bila terjadi gangguan penyaluran daya terhenti.

Untuk memperbaiki kekurangan dari sistem radial terbuka diatas maka dipakai konfigurasi sistem radial paralel, yang menyalurkan tenaga listrik melalui dua saluran yang diparalelkan. Pada sistem ini titik beban dilayani oleh dua saluran, sehingga bila salah satu saluran mengalami

gangguan, maka saluran yang satu lagi dapat menggantikan melayani, dengan demikian pemadaman tidak perlu terjadi.

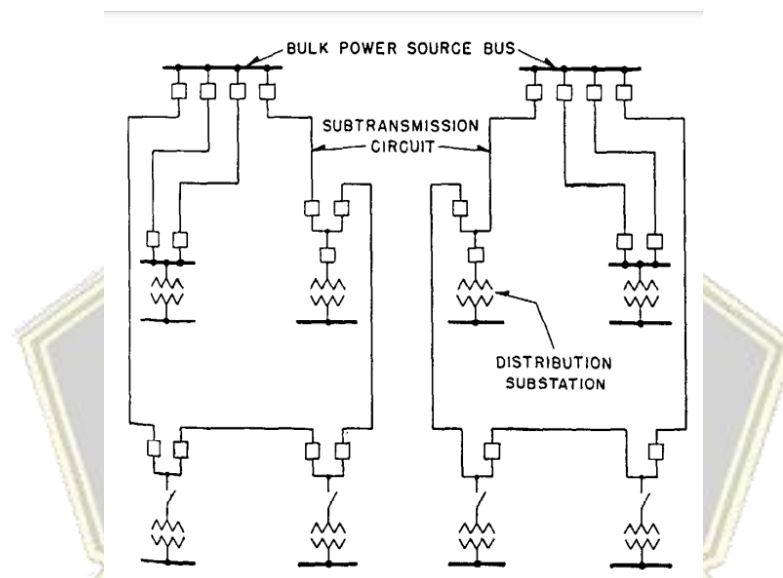
Kontinuitas pelayanan sistem radial paralel ini lebih terjamin dan kapasitas pelayanan bisa lebih besar dan sanggup melayani beban maksimum (*peak load*) dalam batas yang diinginkan. Kedua saluran dapat dikerjakan untuk melayani titik beban bersama-sama. Biasanya titik beban hanya dilayani oleh salah satu saluran saja. Hal ini dilakukan untuk menjaga kontinuitas pelayanan pada konsumen.



**Gambar 2. 3** Sistem Jaringan Radial Paralel [5]

### 2.2.1.2. Ring/Loop

Sistem rangkaian tertutup pada jaringan distribusi merupakan suatu sistem penyaluran melalui dua atau lebih saluran feeder yang saling berhubungan membentuk rangkaian berbentuk cincin. Sistem ini secara ekonomis menguntungkan, karena gangguan pada jaringan terbatas hanya pada saluran yang terganggu saja. Sedangkan pada saluran yang lain masih dapat menyalurkan tenaga listrik dari sumber lain dalam rangkaian yang tidak terganggu. Sehingga kontinuitas pelayanan sumber tenaga listrik dapat terjamin dengan baik.



Gambar 2. 4 Sistem Jaringan Tertutup (Siswanto,2009)

Yang perlu diperhatikan pada sistem ini apabila beban yang dilayani bertambah, maka kapasitas pelayanan untuk sistem rangkaian tertutup ini kondisinya akan lebih jelek. Tetapi jika digunakan titik sumber (Pembangkit Tenaga Listrik) lebih dari satu di dalam sistem jaringan ini maka sistem ini akan banyak dipakai dan akan menghasilkan kualitas tegangan lebih baik, serta regulasi tegangannya cenderung kecil.

Kelebihan:

- a) Dapat menyalurkan daya listrik melalui satu atau dua feeder yang saling berhubungan.
- b) Menguntungkan dari segi ekonomis.

- c) Bila terjadi gangguan pada saluran maka saluran yang lain dapat menggantikan untuk menyalurkan daya Listrik.
- d) Kontinuitas penyaluran daya listrik lebih terjamin.
- e) Bila digunakan dua sumber pembangkit, kapasitas tegangan lebih baik dan regulasi tegangan cenderung kecil.
- f) Dalam kondisi normal beroperasi, pemutus beban dalam keadaan terbuka.
- g) Biaya konstruksi lebih murah.
- h) Faktor penggunaan konduktor lebih rendah, yaitu 50%.
- i) Keandalan relatif lebih baik.

Kekurangan:

- a) Keterandalan sistem ini lebih rendah.
- b) Drop tegangan makin besar.
- c) Bila beban yang dilayani bertambah, maka kapasitas pelayanan akan buruk.

#### **2.2.1.3. Sistem Network/Mesh**

Sistem *network/mesh* ini merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan secara terus menerus oleh dua atau lebih feeder pada gardu-gardu induk dari beberapa pusat pembangkit tenaga listrik yang bekerja secara paralel. Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem-sistem yang terdahulu dan merupakan sistem yang paling baik serta dapat diandalkan, mengingat sistem ini dilayani oleh dua atau lebih sumber tenaga listrik. Selain itu jumlah cabang lebih banyak dari jumlah titik *feeder*.

Sistem ini dapat digunakan pada daerah-daerah yang memiliki kepadatan tinggi dan mempunyai kapasitas serta kontinuitas pelayanan yang sangat baik. Gangguan yang terjadi pada salah satu saluran tidak akan mengganggu kontinuitas pelayanan. Sebab semua titik beban terhubung paralel dengan beberapa sumber tenaga listrik.

Kelebihan:

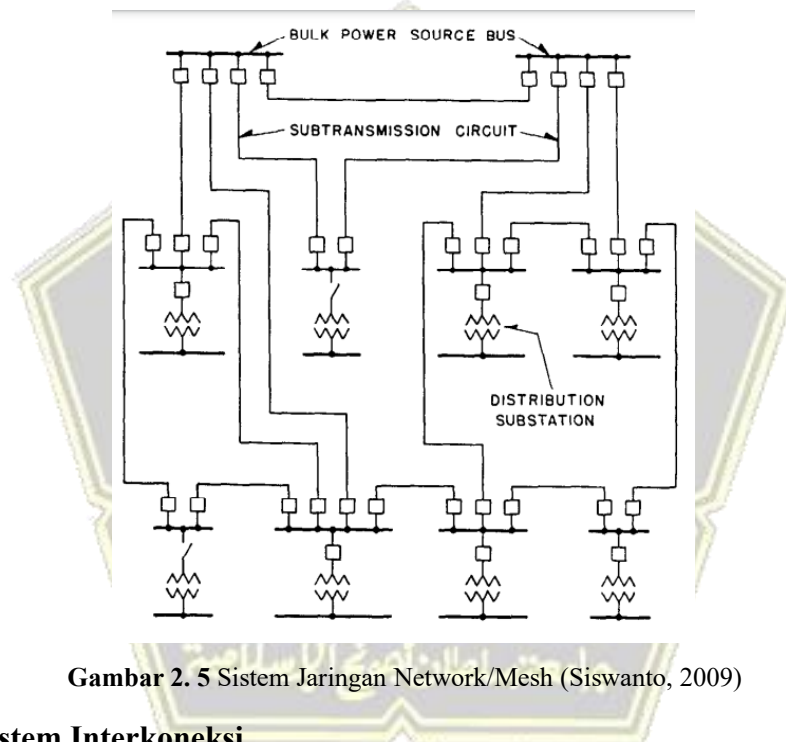
- a) Penyaluran tenaga listrik dapat dilakukan secara terus-menerus (selama 24 jam) dengan menggunakan dua atau lebih *feeder*.
- b) Merupakan pengembangan dari sistem-sistem yang terdahulu.
- c) Tingkat keandalan lebih tinggi.



- d) Jumlah cabang lebih banyak dari jumlah titik *feeder*.
- e) Dapat digunakan pada daerah-daerah yang memiliki tingkat kepadatan yang tinggi.
- f) Memiliki kapasitas dan kontinuitas pelayanan sangat baik.
- g) Gangguan yang terjadi pada salah satu saluran tidak akan mengganggu kontinuitas pelayanan.

Kekurangan:

- a) Biaya konstruksi dan pengembangan lebih tinggi.
- b) Setting alat proteksi lebih sukar.



Gambar 2. 5 Sistem Jaringan Network/Mesh (Siswanto, 2009)

#### 2.2.1.4. Sistem Interkoneksi

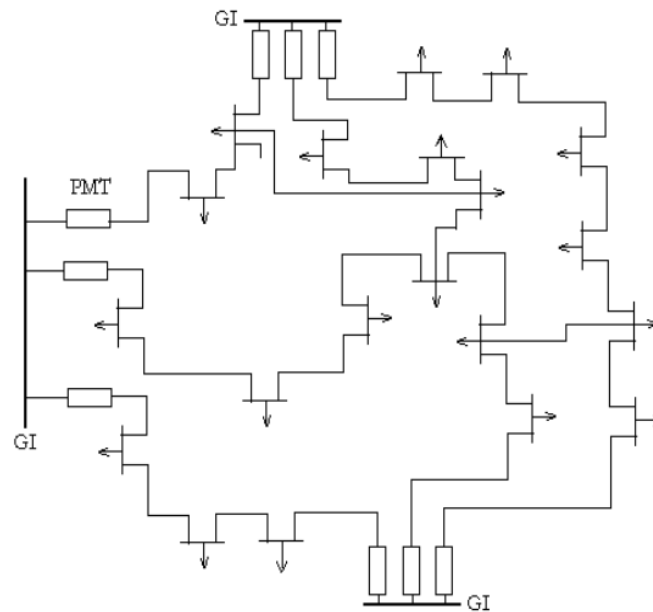
Sistem interkoneksi ini merupakan perkembangan dari sistem network/mesh. Sistem ini menyalurkan tenaga listrik dari beberapa pusat pembangkit tenaga listrik yang dikehendaki bekerja secara paralel. Sehingga penyaluran tenaga listrik dapat berlangsung terus-menerus, walaupun daerah kepadatan beban cukup tinggi dan luas. Hanya saja sistem ini memerlukan biaya yang cukup mahal dan perencanaan yang cukup matang. Untuk perkembangan dikemudian hari, sistem interkoneksi ini sangat baik, bisa diandalkan dan merupakan sistem yang mempunyai kualitas yang cukup tinggi.

Kelebihan:

- a) Dapat menyalurkan tenaga listrik dari beberapa pusat pembangkit tenaga Listrik.
- b) Penyaluran tenaga listrik dapat berlangsung terus-menerus.
- c) Memiliki keandalan dan kualitas sistem lebih tinggi.
- d) Apabila salah satu pembangkit mengalami kerusakan, akan dialihkan ke pusat pembangkit lainnya.
- e) Ongkos pembangkitan dapat diperkecil.
- f) Dapat memperpanjang umur pembangkit.
- g) Menjaga kestabilan sistem pembangkit.
- h) Dapat dicapai penghematan di dalam investasi.
- i) Sistem ini dapat bekerja bergantian sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan.

Kekurangan:

- a) Memerlukan biaya yang cukup mahal.
- b) Memerlukan perencanaan yang matang.
- c) Saat terjadi gangguan hubung singkat pada penghantar, maka semua pusat pembangkit akan tergabung di dalam sistem dan akan ikut menyumbang arus hubung singkat ke tempat gangguan tersebut.
- d) Perlu menjaga keseimbangan antara produksi dengan pemakaian.
- e) Merepotkan saat terjadi gangguan petir.



Gambar 2. 6 Sistem Jaringan Interkoneksi (Siswanto,2009)

### 2.2.2. Gangguan pada Penyulang

Pada dasarnya gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi saluran 20kV dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu gangguan dari dalam sistem dan gangguan dari luar sistem. Gangguan yang berasal dari luar sistem disebabkan oleh sentuhan daun/pohon pada penghantar, sambaran petir, manusia, binatang cuaca dan lain-lain. Sedangkan gangguan yang datang dari dalam sistem dapat berupa kegagalan dari fungsi peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan pemutus beban dan kesalahan pada alat pendeteksi.

#### 2.2.2.1. Macam-Macam Gangguan

Gangguan pada sistem Distribusi tenaga listrik biasanya identik dengan *short circuit*, namun pada kenyataannya terdapat beberapa macam gangguan seperti beban lebih, tegangan lebih, tegangan kurang, ketidakseimbangan. Penjelasan lebih lanjut tentang macam-macam gangguan sebagai berikut:

##### A. Gangguan Beban Lebih (*Overloads*)

Gangguan beban lebih adalah sebuah kondisi yang abnormal pada suatu sistem. *Overloads* sering salah diinterpretasikan sebagai gangguan hubung singkat, padahal kedua gangguan ini sangat berbeda. *Overloads* adalah arus yang berlebih pada saluran transmisi, saluran distribusi,

Tranformator, motor, generator, ataupun pada kapasitor yang mana kelebihan arus secara kontinyu dapat berdampak pada kerusakan peralatan.

*Overloads* bukanlah sebuah dampak dari kegagalan isolasi. *Overloads* pada jaringan transmisi, jaringan distribusi, maupun transformator biasanya dikarenakan oleh kesalahan pengoprasian baik secara manual maupun otomatis.

Gangguan ini berupa arus yang melewati penghantar melebihi kapasitas penghantar sehingga akan timbul pada, jika dibiarkan terus menerus maka dapat merusak isolasi pengantar (jika terdapat isolasi) yang akan berdampak pada *short circuit*, ataupun dapat merusak *jointing* antar penghantar.

## **B. Gangguan Tegangan Lebih**

Gangguan tegangan lebih didefinisikan sebagai kondisi abnormal yang mana terjadi kelenihan tegangan secara terus-menerus pada transformator, kapasitor, motor, generator, maupun pada sisi reaktor yang dapat menyebabkan kerusakan peralatan. Transformator dan generator yang memiliki ukuran besar biasanya didesain untuk bekerja dan beroperasi, pada tegangan pelayanan maksimum +5% minimum -10% dari tegangan nominal [6] yang mengutip peraturan pada (SPLN 1: 1995).

*Overvoltages* dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan diantaranya seperti kegagalan dalam ketidak sesuaian beban dengan tap changer. *Overvollages* juga dapat terjadi dikarenakan hilangnya beban pelanggan secara tiba-tiba.

## **C. Gangguan Tegangan Jatuh (*Undervoltages*)**

Tegangan Jatuh juga termasuk dalam kondisi abnormal pada suatu sistem. *Undervoltage* adalah sebuah keadaan tegangan dibawah tegangan kerja komponen listrik yang terjadi secara terus-mencrus. Transformator dan komponen listrik lainnya di desain untuk bekerja dalam tegangan tidak kurang dair 95% tegangan nominalnya.

Tegangan jatuh menjadi fokus spesial dikarena beban, pada sistem tenaga adalah beban yang membutuhkan Tegangau yang konstan yang mana

jika tegangan berkurang, maka arus beban akan meningkat, sementara itu kemampuan sistem dalam menyalurkan tenaga listrik berkurang.

#### **D. Gangguan Ketidakstabilan**

Gangguan ini disebabkan adanya gangguan hubung singkat di sistem tenaga listrik atau lepasnya pembangkit yang dapat menimbulkan *power swing* (ayunan daya) atau menyebabkan unit-unit pembangkit lepas sinkron. Ayunan daya dapat menyebabkan *rele* salah bekerja dan menyebabkan generator lepas sinkron. Dampak lebih lanjut, dapat menyebabkan berkurangnya daya yang dibangkitkan karena tripnya pembangkit, maka frekuensi akan menurun. Hal ini juga dapat diakibatkan oleh gangguan pada pembangkit yang menyebabkan *trip*-nya pengaman yang berada pada jaringan.

#### **E. Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit*)**

Gangguan hubung singkat pada sistem distribusi tenaga listrik didefinisikan sebagai kondisi abnormal dimana adanya hubungan antara dua titik atau lebih beda potensial. Hubung singkat lebih dikenal dengan sebutan gangguan.

Gangguan diklasifikasikan berdasarkan jumlah konduktor yang mengalami hubung singkat dan apakah gangguan tersebut terhubung dengan tanah atau tidak. Gangguan juga diklasifikasikan berdasarkan hambatan pada titik gangguan dan besarnya arus gangguan. *Bolted faults* adalah gangguan yang dapat disebabkan oleh hubung singkat dengan mengabaikan nilai resistansi hambatan. *Bolted faults* dapat disebabkan oleh crossarm yang rusak atau tiang yang jatuh.

Gangguan Impedansi jatuh, adalah gangguan hubung singkat dengan nilai resistansi gangguan yang kecil. Gangguan impedansi jatuh dapat dikarenakan oleh insulator yang mengalami *flashover* dimana arus membentuk loncatan busur api. Gangguan impedansi tinggi adalah gangguan yang disebabkan oleh kegagalan isolasi pada generator, motor, dan transformator atau dikarenakan terjadi kontak antara pohon dengan saluran transmisi maupun distribusi. Bolted faults dapat dikategorikan



sebagai gangguan dengan arus tinggi (10.000 sampai dengan 100.000 Ampere) jika lokasi gangguan dekat dengan gardu induk, *switchyard*, atau generator. Jika lokasi gangguan jauh dari gardu induk, *switchyard*, atau generator, nilai dari bolted faults dapat menjadi lebih kecil dan disebut dengan gangguan arus rendah (1000 Ampere). Jika arus gangguan kurang dari 200 Ampere, impedansi substansial (baik disengaja maupun tidak disengaja) dapat dikategorikan kedalam gangguan hubung singkat dan deteksi gangguannya bisa jadi sangat sulit. Biasanya gangguan satu fasa ke tanah lebih dapat dicegah.

Alasan utama untuk mengklasifikasikan tipe gangguan sebagai gangguan fasa atau gangguan tanah adalah untuk menentukan *setpoint* dari *rele* proteksi, untuk studi koordinasi *rele* proteksi, dan untuk studi stabilitas sementara. Umumnya, *rele* fasa di *setting* dan di koordinasikan dengan *rele* tanah.

Berdasarkan dari lamanya gangguan, gangguan pada penyulang dibedakan menjadi 2, yaitu:

a) Gangguan Temporer

Gangguan yang bersifat temporer ini apabila terjadi gangguan, maka gangguan tersebut tidak akan lama dan dapat normal kembali. Gangguan ini dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutus sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Kemudian disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya. Apabila gangguan temporer sering terjadi dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan dan akhirnya menimbulkan gangguan yang bersifat permanen.

Salah satu contoh gangguan yang bersifat temporer adalah gangguan akibat sentuhan pohon yang tumbuh disekitar jaringan, akibat binatang seperti burung kelelawar, ular dan layangan.

Gangguan ini dapat hilang dengan sendirinya yang disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya. Apabila gangguan temporer sering terjadi maka hal tersebut akan

menimbulkan kerusakan pada peralatan dan akhirnya menimbulkan gangguan yang bersifat permanen.

b) Gangguan Permanen

Gangguan permanen tidak akan dapat hilang sebelum penyebab gangguan dihilangkan terlebih dahulu. Gangguan yang bersifat permanen dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan, sehingga gangguan ini baru hilang setelah kerusakan ini diperbaiki atau karena ada sesuatu yang mengganggu secara permanen. Untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut. Terjadinya gangguan ditandai dengan jatuhnya pemutus tenaga, untuk mengatasinya operator memasukkan tenaga secara manual.

Contoh gangguan ini yaitu adanya kawat yang putus, terjadinya gangguan hubung singkat, dahan yang menimpa kawat fasa dari saluran udara, adanya kawat yang putus, dan terjadinya gangguan hubung singkat.

#### **2.2.2.2. Penyebab Gangguan**

Gangguan biasanya diakibatkan oleh kegagalan isolasi diantara penghantar fasa atau antara penghantar fasa dengan tanah. Secara nyata kegagalan isolasi dapat menghasilkan beberapa efek pada sistem yaitu menghasilkan arus yang cukup besar, atau mengakibatkan adanya impedansi diantara konduktor fasa atau antara penghantar fasa dan tanah.

Penyebab terjadinya gangguan pada jaringan distribusi disebabkan karena [7]:

- a) Kesalahan mekanis.
- b) Kesalahan thermis.
- c) Karena tegangan lebih.
- d) Karena material yang cacat atau rusak.
- e) Gangguan hubung singkat.
- f) Konduktor putus.

Faktor-faktor penyebab terjadinya gangguan pada jaringan distribusi adalah karena (Hutauruk, 1987:4):

- a) Surja petir atau surja hubung.
- b) Burung atau daun-daun.
- c) Polusi debu.
- d) Pohon-pohon yang tumbuh di dekat jaringan.
- e) Keretakan pada isolasi.
- f) Andongan yang terlalu kendor.

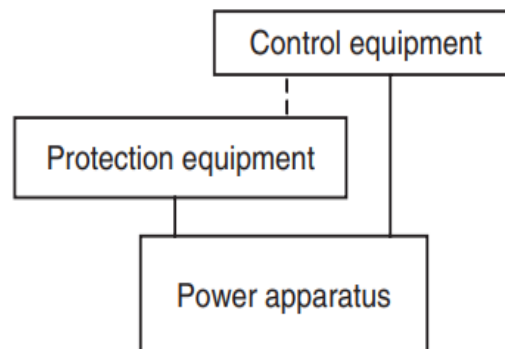
### **2.2.3. Pengaman Sistem Tenaga Listrik**

*Relaying* adalah cabang dari teknik tenaga listrik itu sendiri yang lebih difokuskan kepada prinsip dari desain dan pengoperasian peralatan yang mana mempunyai fungsi untuk mendeteksi keabnormalan kondisi sistem tenaga terhadap kondisi normalnya dan menginisiasi tindakan korektif secepat mungkin dalam rangka untuk mengembalikan sistem tenaga tersebut kedalam kondisi normal.

Kecepatan respon peralatan menjadi inti dari sistem proteksi *rele*-waktu respon dalam hitungan beberapa milidetik sering sekali diterapkan dalam lapangan. Sebagai konsekuensinya, manusia tidak mungkin dapat mengintervensi saat sistem proteksi ini bekerja. Respon dari peralatan yang ada haruslah secara otomatis, cepat dan menghasilkan sekecil mungkin gangguan pada sistem [8].

#### **2.2.3.1. Multilayers Structure Sistem Tenaga**

Sebuah sistem tenaga dibuat dari peralatan yang saling terinterkoneksi yang mana dapat dilihat dalam tiga lapis stuktur yang ditinjau dari fungsi peralatan tersebut, yang diilustrasikan pada gambar berikut:



**Gambar 2. 7** Diagram Multilayers Structure (Horowitz,2014)

Pada tingkatan paling dasar yaitu peralatan listrik yang mana mempunyai fungsi untuk menghasilkan, mentransformasikan dan mendistribusikan tenaga listrik menuju beban. Selanjutnya pada tingkatan peralatan kontrol, pada level ini peralatan kontrol berfungsi untuk membantu menjaga sistem tenaga untuk tetap berada pada voltase dan frekuensi normal, menghasilkan cukup daya untuk didistribusikan menuju beban dan menjaga keamanan sistem tenaga. Peralatan kontrol mengatur dalam ranah hirarki tersendiri, yang mana terdiri dari fungsi kontrol lokal dan pusat. Dan yang terakhir adalah tingkatan peralatan proteksi.

Waktu respon dari fungsi proteksi biasanya lebih cepat dari fungsi kontrol. Sistem proteksi bekerja dengan cara membuka dan menutup *circuit breaker* (CB) dengan demikian mengubah struktur dari sistem tenaga, sedangkan fungsi kontrol bekerja secara terus-menerus untuk menyesuaikan variabel dari sistem tenaga tersebut, seperti voltase, arus dan aliran daya dalam jaringan. Seringkali, perbedaan diantara fungsi kontrol dan fungsi proteksi menjadi sedikit kacau [9].

#### **2.2.4. Peralatan Sistem Proteksi Jaringan Distribusi**

Sistem proteksi tenaga listrik adalah proteksi yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik pada suatu penyaluran tenaga listrik sehingga proses penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit (*power plant*) hingga saluran distribusi listrik (*substation distribution*) dapat disalurkan sampai pada konsumen dengan aman. Sistem proteksi tenaga listrik diterapkan supaya jika nanti terjadi gangguan peralatan yang berhubungan dengan penyaluran tenaga listrik tidak mengalami

kerusakan. Jika saat pemeliharaan terjadi gangguan, maka pengaman-pengaman yang terpasang harus bekerja demi mengamankan sistem dan manusia yang sedang melakukan perawatan. Peralatan yang dimaksud dalam sistem proteksi adalah peralatan – peralatan jaringan yang berfungsi sebagai peralatan hubung dan pengaman.

Macam-macam peralatan jaringan, yakni:

#### **2.2.4.1. Pemutus tenaga (PMT)**

Pemutus tenaga (PMT) adalah alat pemutus tenaga listrik yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan hubungan listrik (*switching equipment*) baik dalam kondisi normal (sesuai rencana dengan tujuan pemeliharaan), abnormal (gangguan), atau *manuver system*, sehingga dapat memonitor kontinuitas system tenaga listrik dan keandalan pekerjaan pemeliharaan.

PMT tegangan menengah ini biasanya dipasang pada Gardu Induk, pada kabel masuk ke busbar tegangan menengah (*Incoming Cubicle*) maupun pada setiap rel/busbar keluar (*Outgoing Cubicle*) yang menuju penyulang keluar dari Gardu Induk (yang menjadi kewenangan operator tegangan menengah adalah sisi *Incoming Cubicle*). Ditinjau dari media pemadam busur apinya PMT dibedakan atas :

- A. PMT dengan media minyak (*Oil Circuit Breaker*)
- B. PMT dengan media gas SF6 (*SF6 Circuit Breaker*)
- C. PMT dengan media vacuum (*Vacuum Circuit Breaker*)

#### **2.2.4.2. Disconnector (DS)/ Saklar Pemisah**

*Disconnecting switch* (DS) Adalah sebuah alat pemutus yang digunakan untuk menutup dan membuka pada komponen utama pengaman/*recloser*, DS tidak dapat dioperasikan secara langsung, karena alat ini mempunyai desain yang dirancang khusus dan mempunyai kelas atau spesifikasi tertentu, jika dipaksakan untuk pengoperasian langsung, maka akan menimbulkan busur api yang dapat berakibat fatal. Yang dimaksud dengan pengoperasian langsung adalah penghubungan atau pemutusan tenaga listrik dengan menggunakan DS pada saat DS tersebut masih dialiri tegangan listrik.



Pengoperasian DS tidak dapat secara bersamaan melainkan dioperasikan satu per satu karena antara satu DS dengan DS yang lain tidak berhubungan, biasanya menggunakan *stick* (tongkat khusus) yang dapat dipanjangkan atau dipendekkan sesuai dengan jarak dimana DS itu berada, DS sendiri terdiri dari bahan keramik sebagai penopang dan sebuah pisau yang berbahan besi logam sebagai *switch*-nya.

#### **2.2.4.3. Air Break Switch (ABS)**

*Air Break Switch* adalah peralatan hubung yang berfungsi sebagai pemisah dan biasa dipasang pada jaringan luar. ABS dilengkapi dengan peredam busur api yang berfungsi untuk meredam busur api yang ditimbulkan pada saat membuka atau melepas pisau ABS yang dalam kondisi betegangan. Kemudian ABS juga dilengkapi dengan isolator tumpu sebagai penopang pisau ABS, pisau kontak sebagai kontak gerak yang berfungsi membuka atau memutus dan menghubungkan atau memasukkan ABS serta stang ABS yang berfungsi sebagai tangkai penggerak pisau ABS.

Pemasangan ABS pada jaringan, antara lain digunakan untuk penambahan dan pengurangan beban pada lokasi jaringan, serta pemisah jaringan secara manual pada saat jaringan mengalami gangguan.

#### **2.2.4.4. Load Break Switch (LBS)**

*Load Break Switch* (LBS) atau saklar pemutus beban adalah peralatan hubung yang digunakan sebagai pemisah ataupun pemutus tenaga dengan beban normal. Proses pemutusan atau pelepasan jaringan dapat dilihat dengan mata telanjang. Saklar pemutus beban ini tidak dapat bekerja secara otomatis pada waktu terjadi gangguan, dibuka atau ditutup hanya untuk memanipulasi beban.

#### **2.2.4.5. Recloser**

*Recloser* adalah peralatan yang digunakan untuk memproteksi bila terdapat gangguan pada sisi hilirnya akan membuka secara otomatis dan akan melakukan penutupan balik (*reclose*) sampai beberapa kali tergantung penyetelan dan akhirnya akan membuka secara permanen bila gangguan masih belum hilang (*lock out*). Penormalan *Recloser* dapat dilakukan baik secara manual maupun dengan sistem

remote. Recloser juga berfungsi sebagai pembatas daerah yang padam akibat gangguan permanen atau dapat melokalisir daerah yang terganggu.

Recloser memiliki 2 karakteristik waktu operasi (*dual timing*), yaitu operasi cepat (*fast*) dan operasi lambat (*delay*). Menurut fasanya, *recloser* dibedakan atas *Recloser 1* fasa dan *Recloser 3* fasa.

Menurut sensor yang digunakan, *Recloser* dibedakan atas *Recloser* dengan sensor tegangan (menggunakan trafo tegangan) di bagian Jawa Timur dan *Recloser* dengan sensor arus (menggunakan trafo arus) digunakan di Jawa Tengah. Bagian-bagian pada *Recloser* dapat dijabarkan sebagai berikut:

#### **A. Pemicu**

Pemutus vakum udara pada *recloser* dapat memberikan fleksibilitas untuk pengoperasian *trip*/menutup dengan rating dan kapasitas yang ada berdasarkan gangguan yang sering terjadi. Pemutus vakum sepenuhnya disegel dan hanya membutuhkan kontak kecil. Sangat cocok untuk diaplikasikan di mekanisme penggerak magnetik dan juga pemutus vakum memiliki kemampuan beroperasi dan sangat ideal untuk diaplikasikan di *recloser*. Dengan demikian, pemutus vakum dengan penggerak magnetik memberikan kehandalan yang tinggi dalam beroperasi dan pemeliharaannya tidak sulit.

#### **B. Penggerak Mekanik**

Penggerak magnetik dirancang oleh teknologi terbaru memberikan kekuatan untuk pemutus tersebut. Karena penggerak magnetik hanya mengkonsumsi daya yang rendah, operasi mengubah penggerak dapat dilakukan dengan tegangan AC 110 atau 220V dipasok dari sumber daya eksternal dan juga baterai yang terisi dengan sumber tegangan DC. Mekanisme penggerak magnet hanya memiliki satu bagian yang bergerak. Dengan demikian penurunan bagian dalam memberikan peningkatan yang sesuai dalam kehandalan. Terutama, sebagai penggerak menggunakan magnet yang menempel dan menggunakan kumparan *trip* dan *close* secara terpisah, penggerak terdiri dari komponen yang sedikit dan pemeliharaannya tidak terlalu sering.

*Rod* adalah bahan isolasi berkekuatan tinggi dimana akan memberikan kekuatan untuk pemutus tersebut. Ketika arus pulsa yang mengalir pada kumparan *close*, plunger penggerak magnetik akan bergerak karena induksi gaya magnetik yang mana akan mendorong pemutus untuk posisi *close*, dan penggerak kemudian ditahan dalam posisi *close*. Sebaliknya, ketika pulsa arus mengalir ke kumparan *trip*, plunger melepaskan kait magnetik dan pemutus tersebut akan berpindah ke posisi *trip*.

### C. Box Isolasi

Kerangka isolasi yang terpasang di bagian atas pagar logam memiliki ketahanan terhadap cuaca. *Box* isolasi diproduksi dengan metode cetakan APG dengan menggunakan resin *epoxy*. Inti cincin CT yang ada didalam *box* isolasi dapat merasakan aliran arus. Dimana informasi arus ini ditransmisikan ke relay berbasis *mikro-prosesor* melalui kabel *multi-core*. Kapasitor pembagi tegangan (CVD) yang ada di dalam *box* isolasi adalah untuk mengukur dan merasakan tegangan sekunder untuk sinyal penggunaan.

### D. Manual Trip/Penutup/Alat Penguncian

Selama ada kesalahan pada sirkuit kontrol atau perbaikan pada jalur, operator dapat langsung mengoperasikan *trip/closing recloser* dengan tuas yang dapat berada pada sisi depan *box*nya. Dengan begitu dapat dioperasikan secara manual dengan COS hot stick. Operasi manual tersedia pada tuas *trip*, jika tuas *trip/locking* berada di posisi *lock*, *recloser* tidak dapat dioperasikan oleh kontrol lokal/*remote* karena power penggerak mati. Dalam posisi *lock* ini, operator harus mendorong tuas *trip* ke posisi *trip* untuk mengembalikan status *lock* dari *recloser* dan kemudian *recloser* dapat dioperasikan oleh kontrol lokal atau *remote* kembali.

### E. Saringan Molekul

Saringan molekul diatur untuk menyerap kelembapan dalam *box* isolasi dan *box* logam *recloser*. Sebuah *poliester* yang mengandung saringan molekuler ditempatkan di dalam *box* dan kubikel kontrol. Saringan molekul biasanya digunakan untuk menghilangkan H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> bersamaan dari

aliran udara. Namun, karena adanya recloser ini PT.PLN (Persero) dapat mengurangi kecelakaan yang diakibatkan oleh arus hubung singkat dan juga kerusakan komponen yang terjadi jika arus hubung singkat tersebut melewati komponen-komponen yang rentan rusak. Maka dengan recloser ini arus hubung singkat dapat ditanggulangi dan sistem akan segera kembali normal.

#### **F. Baterai dan Charger Baterai**

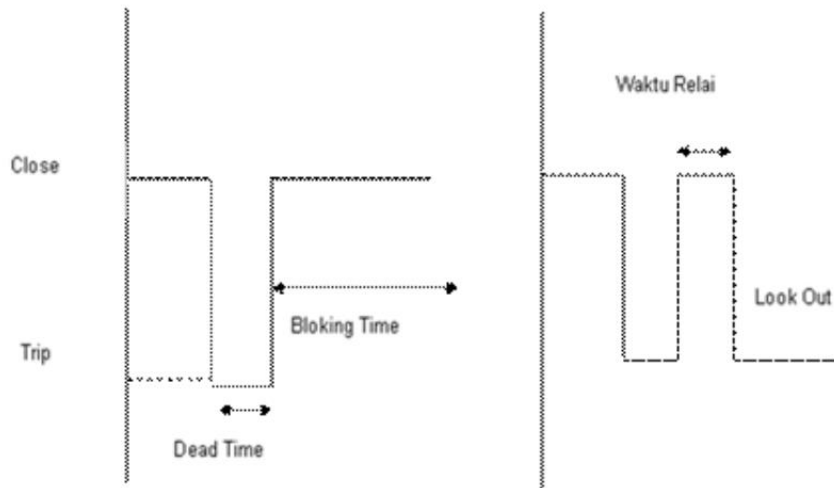
Baterai digunakan untuk mengoperasikan komponen *recloser* dan rangkaian kontrol dimana baterai dan chargernya ditempatkan di bagian bawah kubikel kontrol dan dapat dengan mudah diganti. Masa pakai baterai biasanya 5 tahun, tetapi dapat diperpendek tergantung pada bagaimana baterai itu dipelihara. Baterai yang terisi penuh sudah cukup untuk 30 jam operasi tanpa sumber daya eksternal.

#### **G. Kubikel Kontrol**

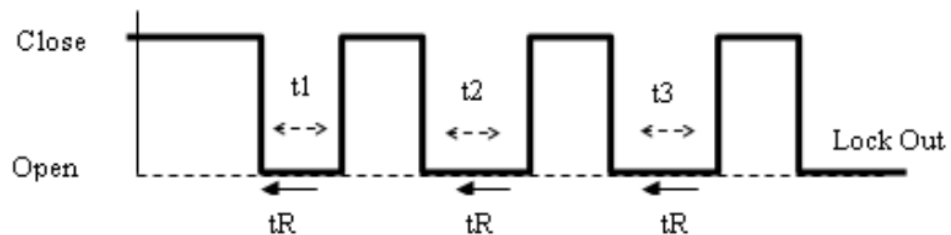
Kubikel Kontrol *recloser* yang berada di luar dilindungi dengan perisai penutup dari sinar matahari yang akan menjaga siklus kerja dari kubikel karena komponen elektronik sensitif terhadap suhu dan baterai sangat terpengaruh pemanasan sinar matahari.

Berdasarkan tipe perintahnya, *reclosing relay* dibedakan dalam dua jenis, yaitu *Single-short Reclosing Relay* dan *Multi Shot Reclosing Relay*. *Single-short Reclosing Relay* hanya dapat memberikan perintah *reclosing* ke PMT satu kali dan baru dapat melakukan *reclosing* setelah blocking time terakhir. Bila terjadi gangguan pada periode blocking time, PMT trip dan tidak bisa reclose lagi (*lock-out*). Jika *Multi Shot Reclosing Relay* dapat memberikan perintah *reclosing* ke PMT lebih dari satu kali. Dead time antar *reclosing* dapat diatur sama atau berbeda. Bila terjadi gangguan, relai OCR/GFR memberikan perintah *trip* ke PMT. Pada saat yang sama juga mengerjakan *reclosing relay*. Setelah dead time yang sangat pendek, relai memberi perintah *reclose* ke PMT. Jika gangguan masih ada, PMT akan *trip* kembali dan *reclosing relay* akan melakukan *reclose* yang kedua setelah *dead time* yang cukup lama. Jika gangguan masih ada, maka PMT akan *trip* kembali dan *reclosing relay* akan melakukan *reclose* yang ketiga setelah *dead time*. Bila

gangguan juga masih ada dalam periode blocking  $t_R$ , maka PMT akan trip dan *lock-out*. Penggunaan multi shot reclosing harus disesuaikan dengan siklus kerja (*duty circle*) dari PMT.



Gambar 2. 8 Single-shot Reclosing Relay (Badarudin,2016)



Gambar 2. 9 Multi-shot Reclosing Relay (Badarudin,2016)

*Recloser* atau yang biasa disebut Pemutar Balik Otomatis (PBO) ini memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- Operasi cepat (*fast tripping*) : untuk mengantisipasi gangguan temporer.
- Operasi lambat (*delayed tripping*) : untuk koordinasi dengan pengaman di hilir..
- Bila gangguan telah hilang, pada operasi cepat maka PBO akan reset kembali ke status awal. Bila muncul gangguan setelah waktu reset, maka PBO mulai menghitung dari awal.

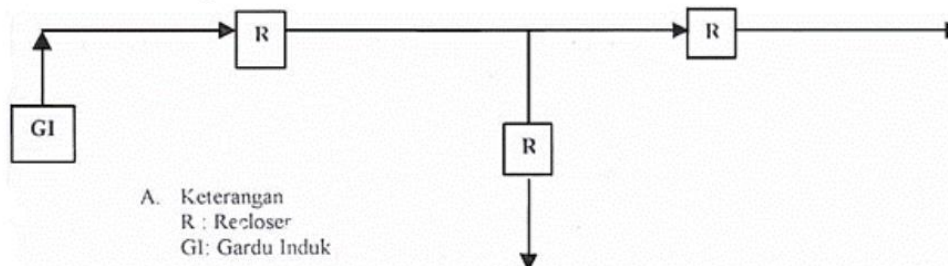


- d) *Repetitive* : reset otomatis setelah *recloser success*.
- e) *Non-repetitive* : memerlukan reset manual (bila terjadi gangguan permanen dan bila gangguan sudah dibebaskan).

Pada suatu gangguan permanen, *Recloser* berfungsi memisahkan daerah atau jaringan yang terganggu sistemnya secara cepat sehingga dapat memperkecil daerah yang terganggu pada gangguan sesaat, *Recloser* akan memisahkan daerah gangguan secara sesaat sampai gangguan tersebut akan dianggap hilang, dengan demikian *Recloser* akan masuk kembali sesuai settingnya sehingga jaringan akan aktif kembali secara otomatis.

Tujuan dipasang Recloser pada jaringan distribusi adalah (PLN, Recloser 1999):

- a) Melindungi suatu peralatan listrik yang relatif nilai harganya lebih mahal atau penting, agar tidak terjadi kerusakan yang total
- b) Sebagai pengaman terhadap keselamatan pekerja atau masyarakat.
- c) Pemasangan Recloser sebagai sistem proteksi pada jaringan distribusi tegangan menengah 20kV sederhana, sepanjang jaringan tersebut beroperasi secara radial atau satu arah



**Gambar 2. 10** Pemasangan Recloser pada Jaringan Radial (Badarudin,2016)

### 2.2.5. Pembebanan Penyulang

Beban yang dilayani oleh sistem distribusi tenaga listrik secara umum dibagi menjadi beberapa sektor, yaitu sektor perumahan, industri, sektor komersial dan sektor usaha yang memiliki karakteristik yang berbeda. Perbedaan ini disebabkan oleh keberagaman konsumsi energi listrik, daya dan waktu pembebanan pada sektor-sektor tersebut.

Karakteristik beban listrik terdapat pada gardu distribusinya. Hal ini penting untuk diketahui karena karakteristik beban listrik suatu gardu distribusi digunakan untuk mengevaluasi pembebanan gardu distribusi tersebut, ataupun merencanakan suatu gardu distribusi yang baru (Susw [10] [11]anto, 2009).

Salah satu faktor yang menentukan karakteristik beban adalah faktor kebutuhan (*demand factor*). *Demand factor* (df) didefinisikan sebagai perbandingan antara beban puncak dengan beban terpasang. Faktor kebutuhan dipakai untuk menentukan kapasitas dan biaya peralatan tenaga listrik yang diperlukan untuk melayani suatu beban. definisi ini dapat ditulis dalam persamaan berikut:

$$df = \frac{\text{beban puncak}}{\text{beban terpasang}} \quad (1)$$

Beban puncak adalah kebutuhan maksimum yang terjadi selama periode tertentu. Sedangkan jumlah daya tersambung merupakan jumlah dari daya tersambung dari seluruh beban setiap konsumen. Kedua variabel ini harus memiliki satuan yang sama dalam memperoleh nilai *demand factor* (df).

Beban terpasang dapat diperoleh dari jumlah arus primer yang dapat mengalir pada gardu trafo distribusi di penyulang tersebut. Arus primer gardu trafo distribusi dapat diketahui dengan rumus:

$$I_{primer} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{primer}} \quad (2)$$

Keterangan :

S = Daya tersambung

V<sub>primer</sub> = Tegangan sisi primer trafo

#### 2.2.6. Keandalan dan Mutu Sistem Distribusi

Mutu dan keandalan penyediaan tenaga listrik merupakan kinerja jaringan distribusi yang harus ditingkatkan, peningkatan mutu dan keandalan menjadi kontribusi signifikan dalam upaya memperbaiki efisiensi dalam operasi. Sangat pentingnya peranan tenaga listrik dalam pemenuhan kebutuhan masyarakat modern, maka penyediaan energi listrik dengan mutu dan keandalan yang harus memadai. Tingkat keandalan sistem distribusi dapat didefinisikan sebagai berikut:

##### A. Tingkat Keandalan I

- Dimungkinkan padam berjam-jam (*radial*)
- B. Tingkat Keandalan II  
Padam beberapa jam (*Open Loop/Satelit*)
- C. Tingkat Keandalan III  
Padam beberapa menit (*Loop Murni/Spindle*)
- D. Tingkat Keandalan IV  
Padam beberapa detik (*Double Incoming*)
- E. Tingkat Keandalan V  
Tanpa padam (*Double Penyulang/Back up*)

Indeks keandalan adalah suatu besaran untuk membandingkan penampilan sistem distribusi. Dua indeks keandalan yang paling sering digunakan dalam sistem distribusi adalah indeks *frekuensi pemadaman rata-rata (f)* dan indeks lama padam rata-rata (*d*) (SPL: 59 1985 Keandalan Distribusi 20kV). Indikator keandalan pada sistem distribusi dalam periode waktu dapat didefinisikan sebagai berikut:

#### 2.2.6.1.SAIFI

*System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) yaitu *index* lama pemutusan (pemadaman) rata-rata dari sistem atau Frekuensi padam rata-rata konsumen yang dapat dinyatakan dengan:

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah kali padam seluruh konsumen}}{\text{Total konsumen}} \text{ per periode waktu} \quad (3)$$

Indeks keandalan ini juga dapat dihitung dari angka keluar komponen yang menyebabkan pemadaman:

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah kali padam seluruh konsumen}}{\text{Total konsumen}} \quad (4)$$

dimana:

- i* = angka keluar komponen yang menyebabkan pemadaman  
*Xi* = panjang penyulang atau unit komponen  
*Ci* = jumlah konsumen per unit yang mengalami pemadaman  
*n* = banyaknya komponen yang keluar menyebabkan pemadaman.

#### 2.2.6.2.SAIDI

*System Average Interruption Duration Index (SAIDI)* yaitu *index* lama pemutusan (pemadaman) rata-rata dari sistem atau dapat dinyatakan sebagai frekuensi padam rata-rata konsumen, dengan persamaan sebagai berikut :

$$SAIDI = \frac{\text{Jumlah lamanya padam seluruh konsumen}}{\text{Total konsumen}} \quad (5)$$

Indeks keandalan ini dapat juga dihitung dari angka keluar komponen yang menyebabkan pemadaman dan waktu pemulihan pelayanan.

$$d = \sum_{n=1}^{\infty} X_i \times \lambda_i (\sum C_{ij} \times t_{ij}) \frac{\text{jam}}{\text{tahun}} \quad (6)$$

dimana:

$\lambda_i$  = angka keluar komponen yang menyebabkan pemadaman

$X_i$  = panjang penyulang atau jumlah unit komponen

$n_i$  = jumlah komponen yang keluar yang menyebabkan pemadaman

$m_i$  = jumlah dari fungsi kerja yang terlibat dalam pemulihan pelayanan

$C_{ij}$  = jumlah komponen per unit yang mengalami pemadaman selama langkah demi langkah dari operasi kerja ( $j$  = indeks dari operasi kerja)

$t_{ij}$  = waktu yang diperlukan dalam langkah demi langkah dari operasi kerja pemulihan pelayanan

Fungsi SAIDI – SAIFI adalah merupakan indikator tingkat keandalan suatu sistem kelistrikan dalam periode waktu. Semakin kecil angka index SAIDI-SAIFI menggambarkan semakin tinggi keandalan dari sisteme kelistrikan tersebut. Dasar dari perhitungan diatas adalah SE 031.E/471/DIR/1993 tentang evaluasi keandalan penyediaan tenaga listrik. Berikut adalah tabel angka keluar dan waktu  $t_{ij}$ .

**Tabel 2. 1** Indeks Angka Keluar

Komponen	Angka Keluar
Saluran Udara	0.2/km/tahun
Kabel saluran bawah tanah	0.07/km/tahun
Pemutus tegangan	0.004/unit/tahun
Sakelar beban	0.003/unit/tahun
Sakelar pisah	0.003/unit/tahun
Penutup balik	0.005/unit/tahun

Penyambung kabel	0.001/unit/tahun
Trafo distribusi	0.005/unit/tahun
Pelindung jaringan	0.005/unit/tahun
Rel tegangan rendah	0.001/unit/tahun

Tabel 2. 2 Indeks Waktu tij

Operasi kerja	Waktu/jam
A. Menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan ke G.I	0.5
A. menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan ke alat penutup kembali	1.0
B. Waktu yang dibutuhkan untuk sampai dari satu gardu ke gardu berikutnya	0.16
B. Waktu yang dibutuhkan untuk sampai dari satu gardu ke gardu berikutnya untuk sistem spot network	0.2
C. Waktu yang dibutuhkan untuk memeriksa indikator gangguan (hanya untuk sistem spindle)	0.083
D. Waktu yang dibutuhkan untuk membuka/menutup pemutus tenaga atau penutup kembali	0.25
E. Waktu yang dibutuhkan untuk membuka/menutup sakelar beban atau saklar pisah	0.15
F. Waktu yang diberikan untuk memperbaiki kawat penghantar udara	3
G. Waktu yang dibutuhkan untuk mencari lokasi gangguan pada kabel bawah tanah	5
H. Waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kabel saluran bawah tanah	10
I. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti/memperbaiki pemutus tenaga, sakelar beban, penutup kembali atau sakelar pisah	10



J. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti penyambung kabel (bulusan) untuk kabel yang berisolasi kertas	15
K. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti trafo distribusi	10
L. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti pelindung jaringan	10
M. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti/memperbaiki bus tegangan rendah	10

Sedangkan untuk nilai PU Sistem ( $C_i$ ) menurut SPLN 59 1985 di rumuskan sebagai berikut :

$$PU \text{ Sistem } (C_i) = \frac{\text{Jumlah Pelanggan Padam}}{\text{Total Jumlah Pelanggan}} \quad (7)$$

### 2.2.7. Energi dan Perhitungan kWh yang Hilang

ENS (*Energy Not Supplied*) adalah indeks keandalan yang menyatakan jumlah energi yang tidak dapat disalurkan oleh sistem kepada pelanggan selama periode satu tahun. Ini didefinisikan sebagai penjumlahan energi yang hilang akibat adanya gangguan terhadap pasokan daya selama periode satu tahun, secara sistematis rumus perhitungan dapat ditulis sebagai berikut :

$$ENS = \sum \text{Daya gangguan (kW)} \times \text{durasi (h)} \quad (8)$$

AENS (*Avarage Energy Not Supplied*) adalah jumlah rata-rata energi listrik yang tidak disalurkan dalam suatu sistem distribusi dalam periode satu tahun akibat terjadinya gangguan. Hal ini didefinisikan sebagai rasio dari total energi yang tidak dapat disalurkan untuk jumlah pelanggan yang dilayani, secara sistematis rumus perhitungan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$AENS = \frac{ENS}{\sum N} \quad (9)$$

Dimana ENS adalah jumlah energi yang tidak tersalurkan oleh sistem dan N adalah jumlah pelanggan yang dilayani.

Untuk melakukan perhitungan ENS (*Energy Not Supplied*) maka harus diketahui daya gangguan terlebih dahulu, adapun secara sistematis rumus perhitungan Daya Gangguan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$L(i) = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\theta \quad (10)$$

## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1. Metode Pengumpulan Data**

#### **3.1.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan**

Waktu penelitian : Januari 2024 – Juni 2024

Tempat Penelitian : PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Grati  
UP3 Pasuruan

#### **3.2. Proses Pengumpulan Data**

Dalam penyusunan Laporan Akhir ini, dibutuhkan sebuah data valid untuk memulai pengerjaannya. Selain itu, proses pengumpulan data wajib berurutan, hal ini dilakukan supaya memudahkan dalam penyusunan dan menghindari kesalahan dalam pembuatan laporan. Metode yang digunakan dalam pengumpulan data adalah sebagai berikut:

##### **3.2.1. Studi Literatur**

Studi Literatur yaitu mempelajari literatur-literatur yang berkaitan dan sekaligus menjadi referensi sebagai penunjang topik permasalahan yang akan dijadikan landasan penelitian ini. Studi ini meliputi tentang pemahaman teori dan konsep serta metode yang cocok untuk membentuk kerangka berpikir agar penelitian ini bersifat logis dan terarah serta bertujuan untuk menambah wawasan penulis. Dalam melakukan analisa ini pada nantinya, penulis menggunakan SPLN, buku-buku referensi dari perkuliahan, perpustakaan ataupun dari tempat penelitian salah satunya dari PT. PLN (Persero) Pedoman dan Petunjuk Sistem Distribusi. Selain itu sebagai tambahan penulis juga mencari referensi yang berasal dari internet baik berupa jurnal nasional ataupun jurnal internasional sebagai data penunjang yang berhubungan.

##### **3.2.2. Observasi Lapangan**

Merupakan metode yang digunakan dengan cara terjun langsung ke tempat yang akan diteliti sesuai dengan rumusan masalah, hal ini dilakukan supaya mengetahui keadaan yang sebenarnya dan menghindari informasi yang keliru. Penulis melakukan survei lapangan dan pengambilan data di PT. PLN (Persero)

Unit Layanan Pelanggan Kebonagung dan PT. PLN (Persero) Gardu Induk Grati sebagai bahan analisa pada laporan akhir ini.

### **3.2.3. Wawancara**

Metode wawancara adalah tahap selanjutnya setelah kedua metode diatas, atau juga dapat dilakukan berbarengan dengan observasi lapangan. Metode wawancara membutuhkan narasumber yang terpercaya, bersangkutan, dan paham dengan rumusan masalah yang diangkat sehingga semua informasi dapat terkumpul akurat. Penulis melakukan tanya jawab secara langsung dengan pembimbing proposal laporan akhir, baik dari pihak pembimbing dari Politeknik Negeri Malang maupun dari pihak PT. PLN (Persero), seperti Supervisor Engineering Area Pasuruan dan Supervisor Rayon Grati yang berhubungan dengan materi dalam penyusunan proposal laporan akhir ini.

### **3.3. Jenis Penelitian**

Penelitian ini bersifat analisa. Analisa ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh panjang saluran terhadap energi tersalurkan dan sistem proteksi di Penyulang Nguling.

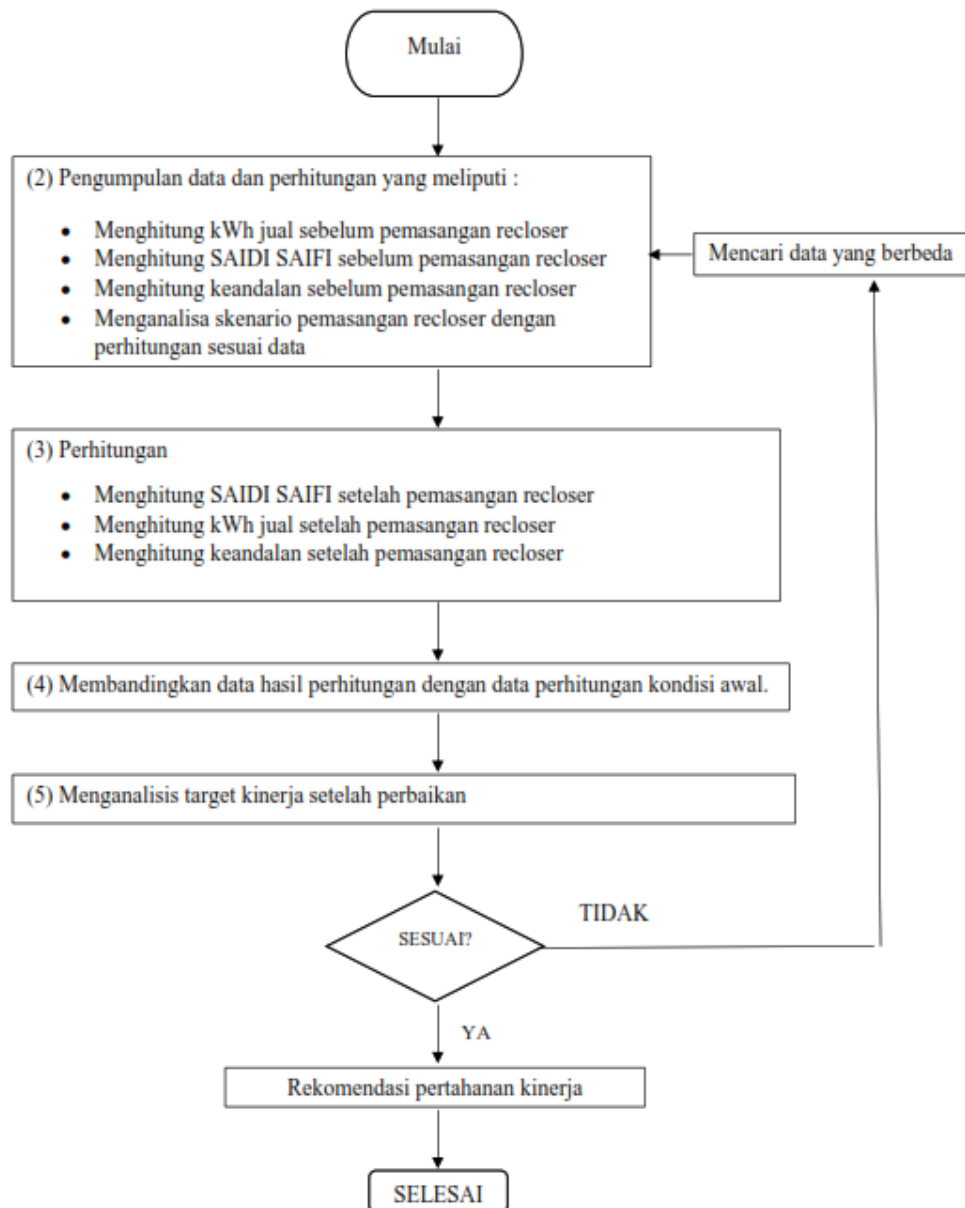
### **3.4. Jenis Data Penelitian**

Proses pengumpulan data dilakukan berbarengan dengan metode yang telah dilakukan, semua metode yang dilakukan nantinya akan menghasilkan data data yang akurat dan terpercaya. Saat metode pengumpulan data dilakukan, sebelumnya penulis harus mengetahui data apa saja yang dibutuhkan, sehingga dalam melakukan proses pengumpulan data, tidak ada data yang keliru maupun tertinggal. Berikut instrumen data penelitian yang dibutuhkan:

- A. Data panjang penyulang
- B. Data jenis penghantar dan ukuran penyulang
- C. Data beban UP2D
- D. Data gangguan penyulang bulanan dan tahunan
- E. Data penyebab gangguan
- F. Data kinerja tahunan ULP Grati.
- G. SLD penyulang Nguling
- H. Data peralatan proteksi terpasang

### 3.5. Bagan Alur Pengerjaan Laporan Akhir

Berikut ini adalah diagram alir khusus pelaksanaan penelitian Laporan Akhir Analisa Kinerja Terjual Unit Layanan Pelanggan Grati terhadap Penanganan Gangguan pada Penyulang tiap-tiap tujuan.



Gambar 3. 1 Diagram Alir

#### Deskripsi Diagram Alir Tujuan I:

##### A. Mulai

Merupakan langkah awal penelitian

### B. Pengumpulan Data dan Perhitungan

Melakukan pengumpulan data untuk menunjang penelitian. Data – data tersebut antara lain data pembebana kurang lebih 2 tahun terakhir, data penyulang Pandan Landung, SLD ULP Grati, data kWh jual ULP Grati serta data gangguan pada penyulang bulanan dan tahunan. Setelah itu melakukan perhitungan untuk menganalisis sebelum pemasangan recloser.

### C. Perhitungan

Melakukan perhitungan setelah pemasangan recloser yang meliputi perhitungan yang dilakukan yaitu perhitungan kWh jual, SAIDI SAIFI lalu jumlah section area padam sebelum pemasangan recloser.

### D. Membandingkan hasil perhitungan sebelum dan sesudah pemasangan recloser.

### E. Analisa target kinerja sebelum dan sesudah pemasangan recloser.

### F. Sesuai

Meninjau kesesuaian hasil perhitungan dengan data yang telah diperoleh, jika telah sesuai dilanjutkan dengan langkah kerja selanjutnya, jika tidak sesuai maka dianjurkan untuk mencari data lain yang ikut menyumbang analisa ini.

### G. Rekomendasi kepada PLN supaya mempertahankan kinerja dan meminimalisir terjadinya gangguan.

## 3.6. Deskripsi dan Data

Berikut ini merupakan beberapa hasil dari observasi data yang didapatkan untuk mendukung pengerjaan laporan akhir ini. Datanya sebagai berikut:

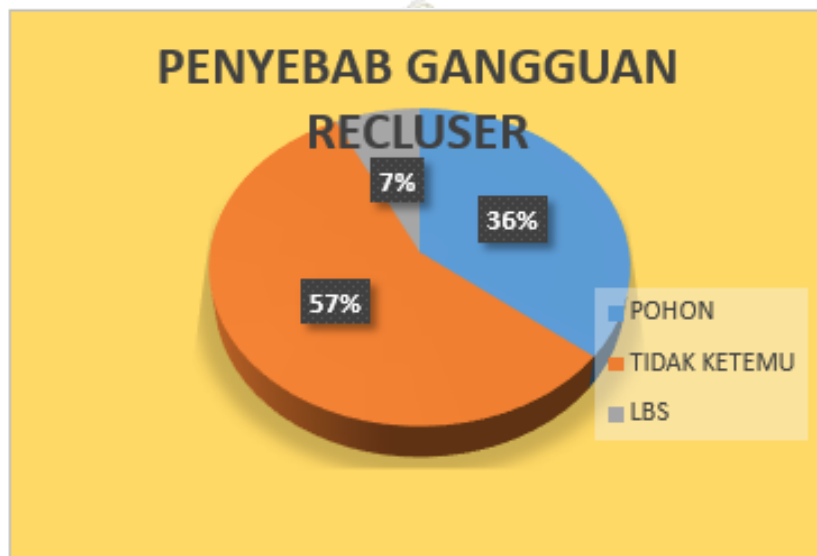
DAFTAR PERALATAN SALURAN TEGANGAN RENDAH BULAN FEBRUARI, 2021														
PT PLN (PERSERO) DISTRIBUSI JAWA TIMUR AREA PASURUAN											Formulir	: 128 / 1		
											Halaman	: 1		
											Edaran	: 060/PST/1976		
											Tgl/Tahun	: 1 Desember 1976		
SALURAN TEGANGAN RENDAH TERPASANG (JTR)														
No	KD UNIT	NAMA UNIT	KODE PENYULANG	NAMA PENYULANG	TEGANGAN ( V )	PANJANG SIRKAT ( kms )	JENIS	BAHAN	PENAMPANG ( mm <sup>2</sup> )	JUMLAH TIAANG	STATUS KEPEMILIKAN	KODE MILIK	STATUS OPERASI	KODE OPERASI
1	51352	GRATI	GRATI	GRATI	220	0,071	SKTR	CU	4x70	1287	PLN		1 OPERASI	1
						0,342	TWISTED	AL	3x35+1x25		PLN		1 OPERASI	1
						1,197	TWISTED	AL	3x50+1x35		PLN		1 OPERASI	1
						57,758	TWISTED	AL	3x70+1x50		PLN		1 OPERASI	1
						12,755	TWISTED	AL	3x70+1x70		PLN		1 OPERASI	1
			NLING	NGULING	220	0,334	SKTR	CU	4x70	1897	PLN		1 OPERASI	1
						3,733	TWISTED	AL	4x25		PLN		1 OPERASI	1
						0,152	TWISTED	AL	3x50+1x35		PLN		1 OPERASI	1
						105,238	TWISTED	AL	3x70+1x50		PLN		1 OPERASI	1
						5,721	TWISTED	AL	3x70+1x70		PLN		1 OPERASI	1

Gambar 3. 2 Data Spesifikasi Jaringan Tegangan Rendah



DAFTAR PERALATAN SALURAN TEGANGAN MENENGAH BULAN FEBRUARI, 2021													
PT. PLN (PERSERO) DISTRIBUSI JAWA TIMUR AREA PASURUAN											Formulir : 12B/1 Halaman : 1 Edaran : 060/PST/1976 Tgl/Tahun : 1 Desember 1976		
SALURAN TEGANGAN MENENGAH TERPASANG (JTM)													
No	KD UNIT	NAMA UNIT	NAMA PENYULANG	TEGANGAN II (kV)	PANJANG SIRKIT (kms)	JENIS	BAHAN	PEHAMPANG (mm <sup>2</sup> )	JUMLAH TIANG	STATUS KEPEMILIKAN	KODE MILIK	STATUS OPERASI	KODE OPERASI
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	51352		GRATI	GRATI	20	0.718	SKTM XLPE	3x240	1111	PLN	1	OPERASI	1
						18.077	SUTM A3C	3x70		PLN	1	OPERASI	1
						25.271	SUTM A3C	3x150		PLN	1	OPERASI	1
						7.281	SUTM A3CS	3x150		PLN	1	OPERASI	1
			NGULING		20	1.248	SKTM XLPE	3x240	1182	PLN	1	OPERASI	1
						1.257	SUTM A3C	3x35		PLN	1	OPERASI	1
						8.007	SUTM A3C	3x50		PLN	1	OPERASI	1
						22.593	SUTM A3C	3x70		PLN	1	OPERASI	1
						0.03	SUTM A3C	3x110		PLN	1	OPERASI	1
						25.053	SUTM A3C	3x150		PLN	1	OPERASI	1
						7.184	SUTM A3CS	3x150		PLN	1	OPERASI	1
						0.002	SUTM MVTIC	3x240		PLN	1	OPERASI	1

Gambar 3. 3 Data Spesifikasi Jaringan Tegangan Menengah



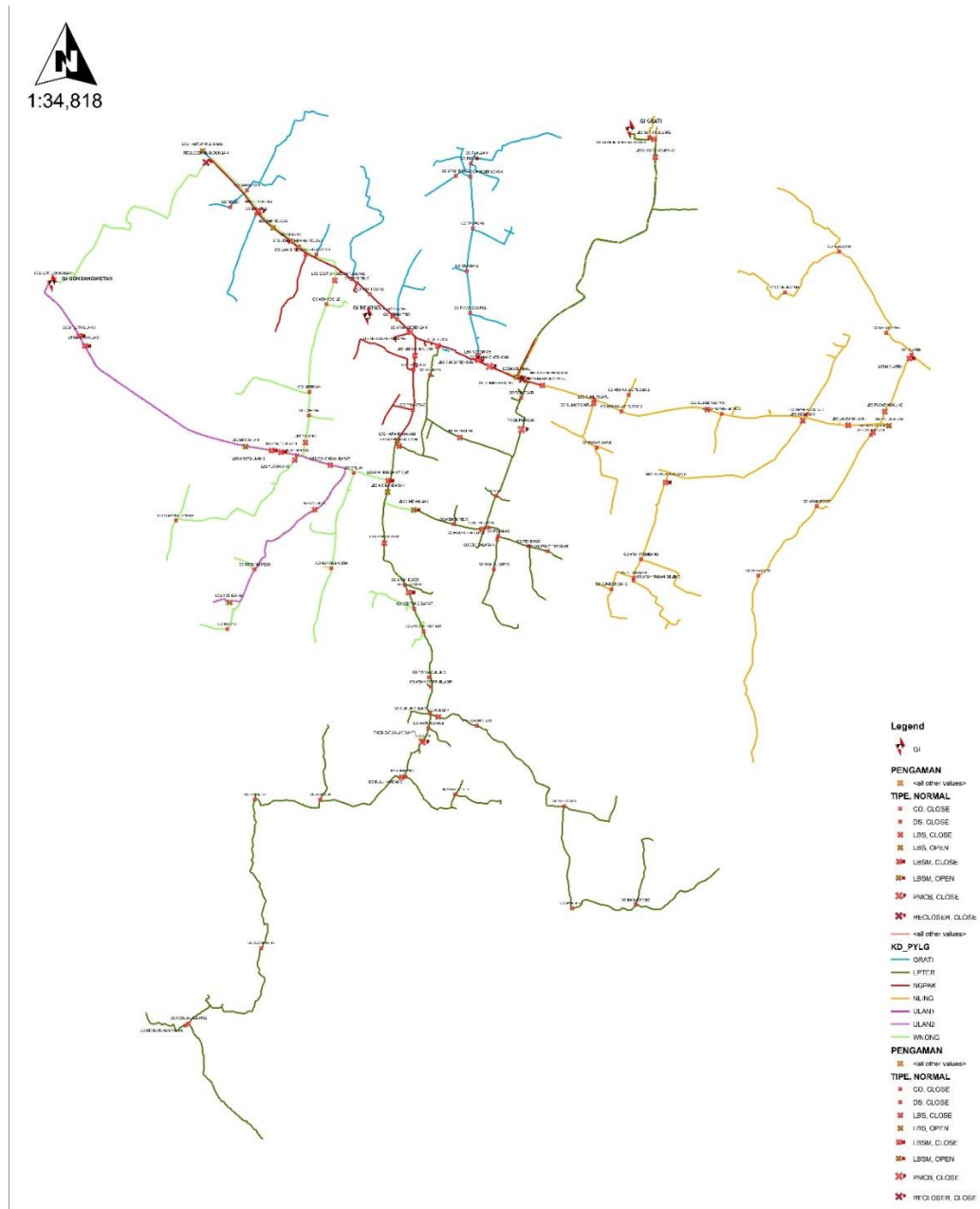
Gambar 3. 4 Data Kegagalan Recloser A



Gambar 3. 5 Data Kegagalan Recloser B

PLN	TANGGAL LENGKAP	hari tanggal			GI	Rayon	TRIP	Nama	Nama Recloser
		dd	mm	yyyy					
LN	tanggal	tg	bln	th	GARDU INDI	RAYON	PMT-RECL/PMC	PENYULANG	RECLOSER
PSR	02 Februari 2021	02	Feb	2021	Grati	Grati	RECL-PMCB	Nguling	Prokimal
PSR	06 Februari 2021	06	Feb	2021	Grati	Grati	RECL-PMCB	Nguling	Prokimal
PSR	09 Februari 2021	09	Feb	2021	Grati	grati	RECL-PMCB	nguling	prokimal

Gambar 3. 6 Data Rekap ULP Grati



Gambar 3. 7 Single Line Penyulang Nguling

## BAB IV DATA DAN ANALISA

### 4.1. Karakteristik Penyulang Nguling

PT. PLN (Persero) UP3 Pasuruan terdiri dari 9 Unit Layanan Pelanggan (ULP). Salah satunya adalah ULP Grati. Di ULP Grati terdapat tujuh penyulang yaitu Grati, Lapter, Ngopak, Nguling, Umbulan 1, Umbulan 2, dan Winongan dengan total panjang jaringan 307,2 kms.

Pada tugas akhir ini akan membahas tentang Penyulang Nguling yang terletak ujung paling kanan. Penyulang Nguling merupakan salah satu sistem distribusi energi listrik ke beban dengan konfigurasi tipe radial. Penyulang Nguling merupakan salah satu penyulang terpanjang di ULP Grati yaitu 65,37 kms dan jumlah pelanggan sebanyak 24333 pelanggan keseluruhan diantaranya 10577 pelanggan ada pada transline. Penyulang Nguling mendapatkan suplai tegangan dari Gardu Induk Grati Trafo I yang berkapasitas 60 MVA dengan spesifikasi trafo sebagai berikut:

**Tabel 4. 1** Spesifikasi Trafo Penyulang Nguling

Merk	: UNION
Serial Number	: P60LEC303-01
Kapasitas	: 60 MVA
Frekuensi	: 50 Hz
Rated Voltage	: 150/20 kV
Arus Nominal	: 230,94 / 1732 A
Impedansi	: 12.04%

Penyulang Nguling memiliki 97 trafo distribusi yang diantaranya 52 trafo ada pada transline. Terdiri dari 90 Pelanggan TR dan 7 Pelanggan TM. Selain itu Penyulang Nguling memiliki beberapa pengaman Terdiri dari 1 Recloser, 2 LBSM, 9 LBS dan 18 CO.

Penyulang Nguling merupakan salah satu penyulang yang rawan di ULP Grati. Penyulang Nguling memiliki jaringan dari GI Grati sampai dengan ujung perbatasan Kabupaten Pasuruan dan Kabupaten Probolinggo. Dengan medan yang cukup ekstrem, faktor alam sangat mempengaruhi keandalan karena lokasi

penyulang yang berada di daerah rimbun pohon, tempat habitat hewan, dan tepi pantai, dengan karakteristik warga yang sangat kritis.

#### 4.2. Analisa Gangguan pada Penyulang Nguling dan Peta Sebaran Wilayah Rawan Gangguan

Berikut merupakan tabel analisis gangguan Penyulang Nguling:

**Tabel 4. 2** Pembebanan Penyulang Nguling, Data A

No	No. Gangguan TM	Dibuat Oleh	Tipe Issue	Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan	Penyulang TM	Tanggal	Permasalahan	Status	Durasi
1	<a href="#">J5120122200033</a>	51350.HANIF	Terdapat layang2 ke jaringan SUTM di corandu ati di ds randu ati	UP3 PASURUAN	Nguling	22/12/2020 16:41	RECLOSER PROKIMAL TRIP OCR PHASA ST	SELESAI	0 00:30:00
2	<a href="#">J5120121900034</a>	51350.HANIF	Belum ditemukan	UP3 PASURUAN	Nguling	19/12/2020 12:47	RECLOSER PROKIMAL TRIP	SELESAI	0 00:30:00
3	<a href="#">J5120120800068</a>	51350.HANIF	Terdapat Ranting sono mengenai jaringan di Ds. Sedarum	UP3 PASURUAN	Nguling	8/12/2020 10:21	RECLOSER PROKIMAL TRIP	SELESAI	0 01:21:00
4	<a href="#">J5120113000064</a>	51350.HANIF	OLI BOCOR	UP3 PASURUAN	Nguling	9/11/2020 3:00	OLI BOCOR DAN HASIL PENGUKURAN TAHANAN ISOLASI ZERO SEMUA	SELESAI	0 01:00:00
5	<a href="#">J5120112400042</a>	51350.HANIF	Terdapat layang2 nyangkut ke jaringan SUTM di ATM BNI Pasar nguling ds nguling	UP3 PASURUAN	Nguling	24/11/2020 19:44	RECLOSER PROKIMAL TRIP	SELESAI	0 00:54:00
6	<a href="#">J5120112300020</a>	51350.HANIF	Belum ditemukan	UP3 PASURUAN	Nguling	23/11/2020 11:55	Reley OCR phasa ST	SELESAI	0 01:05:00
7	<a href="#">J5120111300035</a>	51350.HANIF	layangan mengenai jaringan di desa randu ati	UP3 PASURUAN	Nguling	13/11/2020 16:48	Recloser Prokimal TRIP OCR	SELESAI	0 01:00:00
8	<a href="#">J5120102500022</a>	51350.HANIF	kedapatan orang main layang mengenai jaringan di desa wates tani	UP3 PASURUAN	Nguling	25/10/2020 15:11	RECLOSER PROKIMAL TRIP	SELESAI	0 01:40:00
9	<a href="#">J5120102100057</a>	51350.HANIF	Terdapat layang2 nyangkut ke jaringan di depan koramil nguling	UP3 PASURUAN	Nguling	21/10/2020 20:58	Reley DGR	SELESAI	0 00:42:00
10	<a href="#">J5120101800096</a>	51350.HANIF	Terdapat layang2 mengenai jaringan di desa cukur gondang	UP3 PASURUAN	Nguling	18/10/2020 15:23	reley DGR	SELESAI	0 00:45:00

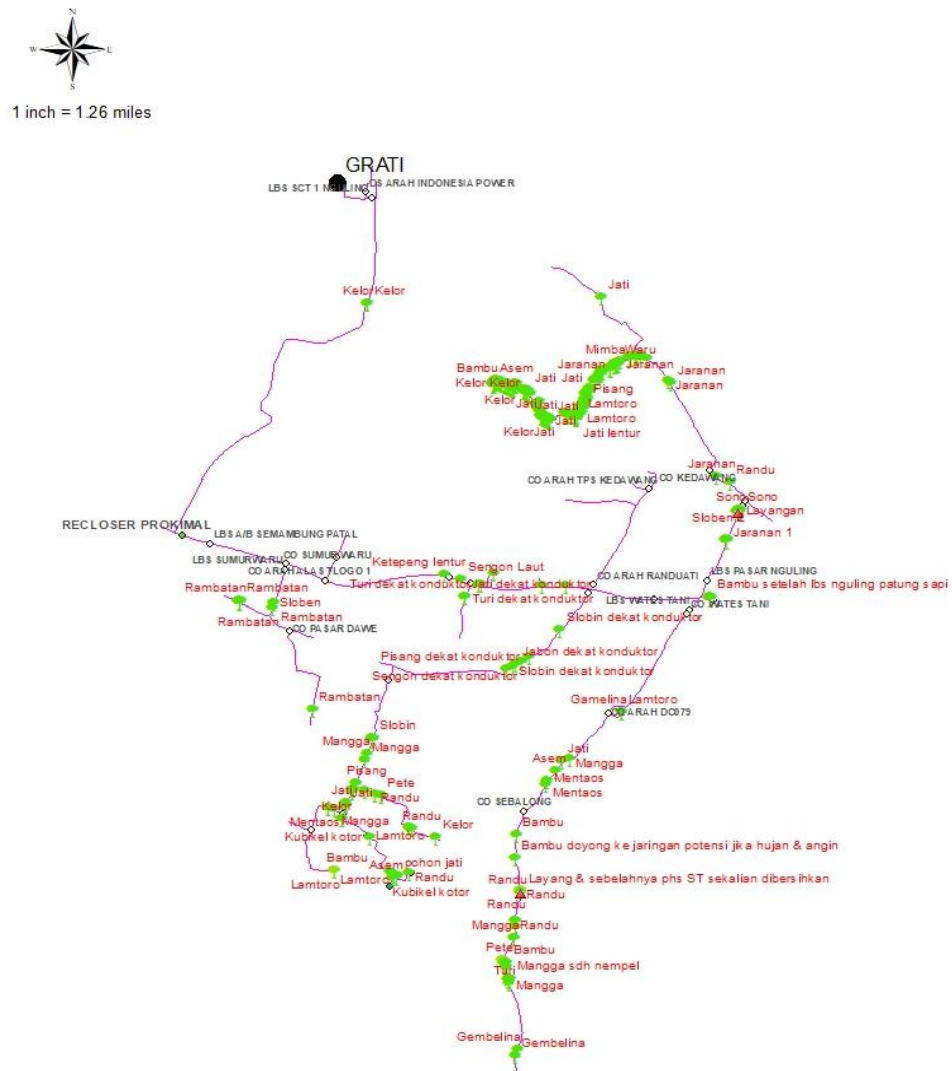
Berdasarkan data gangguan dari Januari 2023 – Desember 2023 didapatkan gangguan trip Recloser sebanyak 23 kali, 11 kali di Section 4-5, dan sisanya tidak ditemukan penyebabnya. Namun, indikasi mengarah pada Section 4-5 karena berdasarkan data temuan inspeksi, daerah di Section 4-5 rawan gangguan yang diakibatkan oleh hewan (tokek, burung dara, ular), maupun pepohonan. Durasi gangguan total adalah 22,8 jam dengan masing masing 18,15 jam LWBP dan 4,65 jam WBP.

Tabel 4. 3 Pembebanan Penyulang Nguling, Data B

11	<a href="#">J5120101200026</a>	51350.HANIF	layangan nyangkut di jaringan di Ds. Kapasan Nguling	UP3 PASURUAN	Nguling	2020-12-10 15:22	RECLOSER PROKIMAL TRIP	SELESAI	0 00:51:00
12	<a href="#">J5120101000035</a>	51350.HANIF	belum diketemukan	UP3 PASURUAN	Nguling	2020-10-10 13:48	Reley DGR cuaca hujan	SELESAI	0 00:30:00
13	<a href="#">J5120100700023</a>	51350.HANIF	Belum diketemukan	UP3 PASURUAN	Nguling	2020-07-10 16:46	RECLOSER PROKIMAL TRIP OCR	SELESAI	0 01:00:00
14	<a href="#">J5120100100014</a>	51350.HANIF	Belum diketemukan	UP3 PASURUAN	Nguling	2020-01-10 10:30	RECLOSER PROKIMAL TRIP OCR INSTAN	SELESAI	0 01:00:00
15	<a href="#">J5120092300023</a>	51350.HANIF	Belum diketemukan	UP3 PASURUAN	Nguling	23/09/2020 13:49	RECLOSER PROKIMAL TRIP	SELESAI	0 00:30:00
16	<a href="#">J5120082300059</a>	51350.HANIF	Belum diketemukan	UP3 PASURUAN	Nguling	23/08/2020 12:31	Reley OCR	SELESAI	0 00:54:00
17	<a href="#">J5120081100019</a>	4PDS1	belum diketemukan	UP3 PASURUAN	Nguling	2020-11-08 13:46	OCR Instant	SELESAI	0 01:10:00
18	<a href="#">J5120073000019</a>	51350.HANIF	Belum diketemukan	UP3 PASURUAN	Nguling	20/07/2020 19:27	RELEY OCR	SELESAI	0 01:28:00
19	<a href="#">J5120070300006</a>	51350.HANIF	kedapatan tiang TM roboh tertabrak trurk di desa nguling	UP3 PASURUAN	Nguling	29/06/2020 00:15	RELEY DGR CUACA CERAH	SELESAI	0 01:58:00
20	<a href="#">J5120020200005</a>	51350.HANIF	Terdapat burung dara bercumbu di TM2 DC 05 C2 Ds wates tani	UP3 PASURUAN	Nguling	2020-02-02 11:38	RECLOSER PROKIMAL TRIP DGR CUACA : MENDUNG	SELESAI	0 00:41:00
21	<a href="#">J5120010800023</a>	51.RONY	Belum diketemukan	UP3 PASURUAN	Nguling	2020-08-01 19:54	Relay : DGR 20 KV Arus Gangguan : 25.6 A Cuaca : CERAH	SELESAI	0 01:05:00
22	<a href="#">J5120010400018</a>	51350.RENDRA	belum diketemukan	UP3 PASURUAN	Nguling	2020-03-01 17:21	DGR	SELESAI	0 00:30:00
23	<a href="#">J5120010100012</a>	51350.RENDRA	Terdapat Kubikel pelanggan PT.JAFFA3 Flas over di ds tanah celeng	UP3 PASURUAN	Nguling	2020-01-01 7:57	RECLOSER PROKIMAL TRIP OCR CUACA : CERAH	SELESAI	0 01:44:00

Dari data gangguan diatas, didapat gangguan GFR sebanyak 8 kali dimana penyebabnya kebanyakan berasal dari layang-layang, hewan (burung), trafo bocor dan pepohonan. Sisanya gangguan OCR yang berasal dari layang-layang, ranting pepohonan, dan belum diketemukan. Dari *Relay* yang terbaca beserta penyebab gangguannya, potensi gangguan masih sangatlah tinggi, walaupun kinerja *Right Of Way* (ROW) sudah sesuai target, namun belum tentu kualitas dari pemeliharaan sudah berjalan baik. Peta sebaran titik gangguan dan daerah rawan gangguan berdasarkan data temuan tim inspeksi akan diilustrasikan pada gambar di bawah: Peta rawan gangguan bersumber dari data temuan inspeksi melalui aplikasi <http://asiikpro.pln-jatim.co.id>.





**Gambar 4. 1** Peta Rawan Gangguan Penyulang Nguling

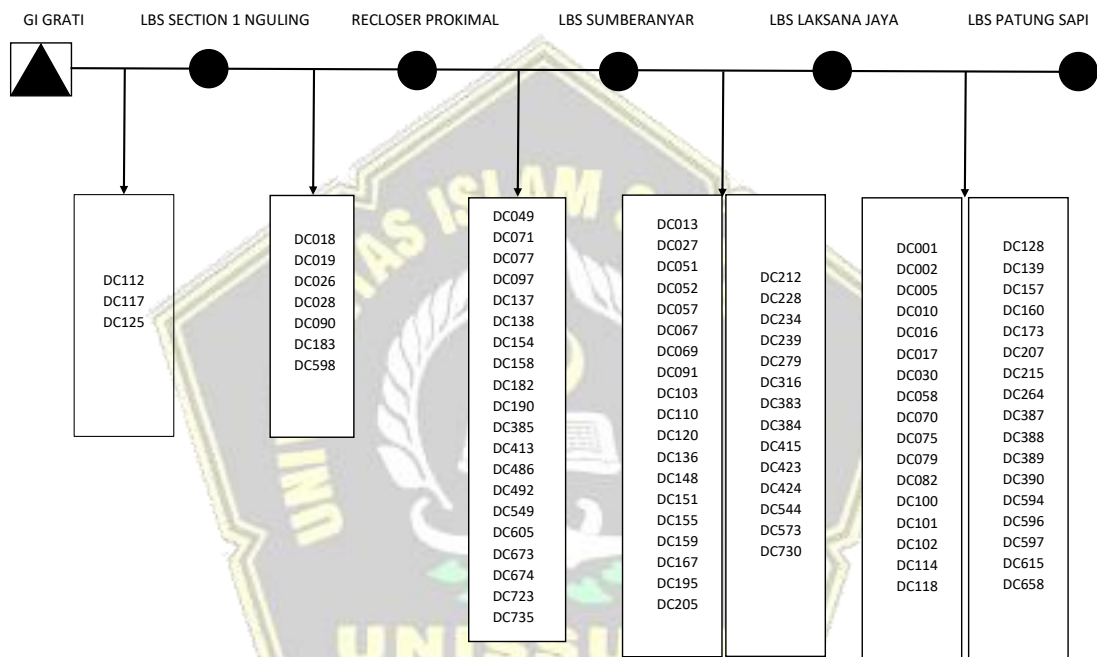
sumber: <http://asiikpro.pln-jatim.co.id>

### 4.3. Uraian Penempatan Recloser Saat Ini

#### 4.3.1. Penempatan Recloser Saat Ini di Penyulang Nguling

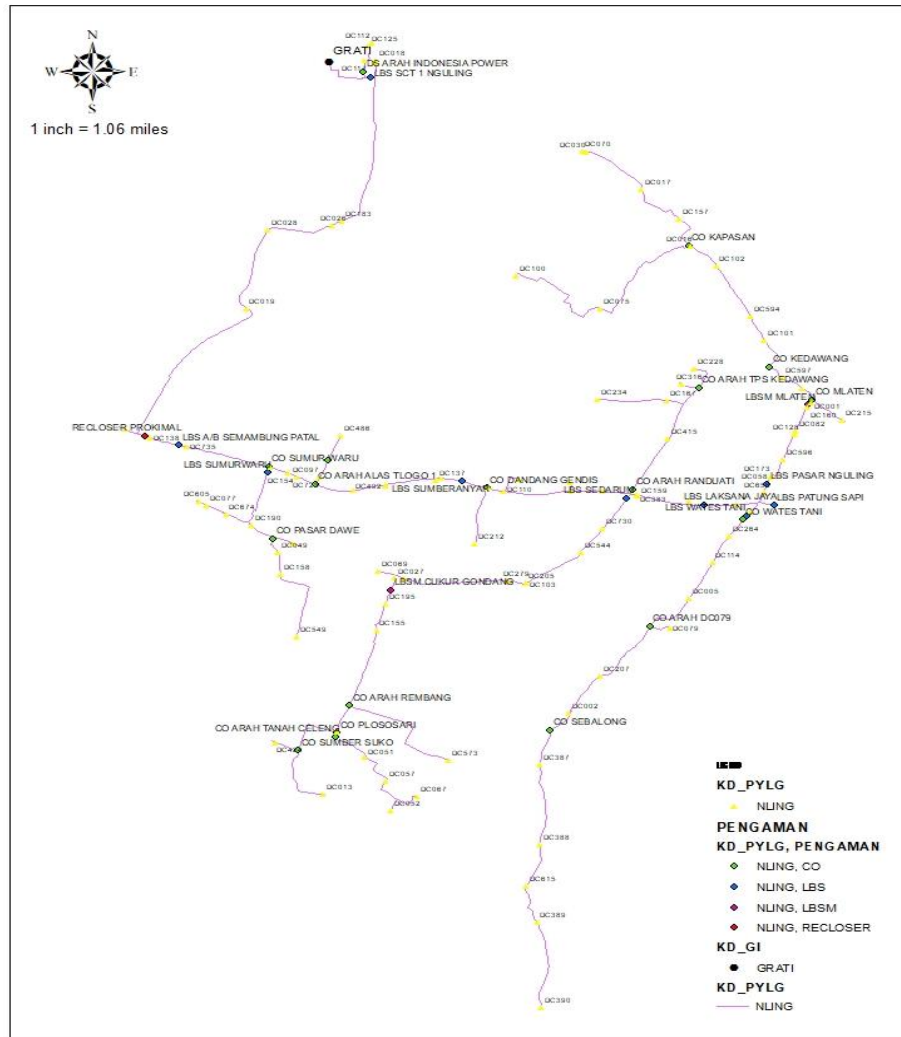
Berdasarkan data di lapangan dan di *single line diagram*, penempatan *Recloser* Penyulang Nguling terletak setelah *Section 2*. Yang artinya *Recloser* tersebut melindungi dua *Section*, yaitu *Section 1* dan *Section 2*. Di *Section* tersebut total ada 10 trafo dengan total 18 pelanggan dari total keseluruhan 97 trafo dan 2433 pelanggan.

SINGLE LINE DIAGRAM TRANSLINE PENYULANG NGULING



Gambar 4. 2 Transline Penyulang Nguling

Sedangkan, *Single Line Diagram* secara utuh digambarkan berdasarkan peta Geografis Arcgis dibawah ini:



**Gambar 4. 3** Single Line Diagram Penyulang Nguling

#### 4.3.2. Perhitungan Beban dan kWh Jual Tiap Section Penyulang Nguling

Menurut hasil pengamatan di Recloser Prokimal, Waktu Beban Puncak (WBP) dimulai pukul 17.00 sampai dengan kembali menurun pukul 22.00 , artinya Waktu Beban Puncak berdurasi sekitar 5 jam, dan sisanya 19 jam adalah Luar Waktu Beban Puncak (LWBP). Dari data trafo yang didapat, perhitungan beban per *Section* dapat terhitung seperti tabel dibawah ini:

Tabel 4. 4 Pembebanan Penyulang Nguling

<i>Section</i>	<b>Kapasitas Trafo (kVA)</b>	<b>Beban WBP (kVA)</b>	<b>Beban LWBP (kVA)</b>
1	600	384.402	194.67
2	575	276.936	110.755
3	2990	1670.456	118.006
4	6150	2099.784	1290.21652
5	3820	2230.118	1502.8631

Hasil pengamatan waktu tersebut digunakan untuk mengetahui nilai kWh jual. Dalam mengkonversi kVA menjadi kW dibutuhkan hasil cos phi. Untuk perhitungan cos phi yang diambil adalah 0,85 sesuai PERMEN ESDM 07 2010. Dari tabel perhitungan beban diatas, kWh jual dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$kWh_{jual} = \sum [Beban (kW) \times Durasi (jam)] \quad (11)$$

Perhitungan kWh jual dalam setahun tanpa ada gangguan yang terjadi pada Penyulang Nguling adalah sebagai berikut:

#### 4.3.2.1.LWBP (Luar Waktu Beban Puncak)

##### A. Section 1

$$\begin{aligned}
 194,67 \text{ kVA} &= 20 \times I \\
 I = \frac{194,67}{20} &= 9,733 \text{ A} \\
 \text{kW} &= V \cdot I \cdot \cos \phi \\
 \text{kW} &= 20 \cdot 9,733 \cdot 0,85 \\
 &= 165,47 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Durasi jam dalam setahun =  $365 \times 19 = 6.935$  jam kWh jual dalam setahun apabila tanpa gangguan sebesar =  $165,47 \text{ kW} \times 6.935 \text{ jam} = \mathbf{1.147.531 \text{ kWh}}$ .

##### B. Section 2

$$\begin{aligned}
 110,755 \text{ kVA} &= 20 \times I \\
 I = \frac{110,755}{20} &= 5,538 \text{ A} \\
 \text{kW} &= V \cdot I \cdot \cos \phi
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{kW} &= 20 \cdot 5,538 \cdot 0,85 \\ &= 94,142 \text{ kW} \end{aligned}$$

Durasi jam dalam setahun =  $365 \times 19 = 6.935$  jam kWh jual dalam setahun apabila tanpa gangguan sebesar =  $94,142 \text{ kW} \times 6.935 \text{ jam} = \mathbf{652.873 \text{ kWh}}$ .

C. *Section 3*

$$\begin{aligned} 1.188,006 \text{ kVA} &= 20 \times I \\ I = \frac{1.188,006}{20} &= 59,4 \text{ A} \\ \text{kW} &= V \cdot I \cdot \cos \phi \\ \text{kW} &= 20 \cdot 59,4 \cdot 0,85 \\ &= 1.009,8 \text{ kW} \end{aligned}$$

Durasi jam dalam setahun =  $365 \times 19 = 6.935$  jam kWh jual dalam setahun apabila tanpa gangguan sebesar =  $1.009,8 \text{ kW} \times 6.935 \text{ jam} = \mathbf{7.002.998 \text{ kWh}}$ .

D. *Section 4*

$$\begin{aligned} 1.290,22 \text{ kVA} &= 20 \times I \\ I = \frac{1.290,22}{20} &= 64,511 \text{ A} \\ \text{kW} &= V \cdot I \cdot \cos \phi \\ \text{kW} &= 20 \cdot 64,511 \cdot 0,85 \\ &= 1.096,687 \text{ kW} \end{aligned}$$

Durasi jam dalam setahun =  $365 \times 19 = 6.935$  jam kWh jual dalam setahun apabila tanpa gangguan sebesar =  $1.096,678 \text{ kW} \times 6.935 \text{ jam} = \mathbf{7.605.524 \text{ kWh}}$ .

E. *Section 5*

$$\begin{aligned} 1.501,86 \text{ kVA} &= 20 \times I \\ I = \frac{1.501,86}{20} &= 75,39 \text{ A} \\ \text{kW} &= V \cdot I \cdot \cos \phi \\ \text{kW} &= 20 \cdot 75,39 \cdot 0,85 \\ &= 1.281,681 \text{ kW} \end{aligned}$$

Durasi jam dalam setahun =  $365 \times 19 = 6.935$  jam kWh jual dalam setahun apabila tanpa gangguan sebesar =  $1.281,681 \text{ kW} \times 6.935 \text{ jam} = \mathbf{8.888.457 \text{ kWh}}$ .

**Total kWh<sub>jual</sub> LWBP dalam satu tahun:**



$$\begin{aligned}
 &= (kWh_{section\ 1} + kWh_{section\ 2} + kWh_{section\ 3} + kWh_{section\ 4} + kWh_{section\ 5}) \\
 &= (1.147.531 + 652.873 + 7.002.998 + 7.605.524 + 8.888.457) \\
 &= \mathbf{25.297.383\ kWh}
 \end{aligned}$$

#### 4.3.2.2.WBP (Waktu Beban Puncak)

##### A. Section 1

$$\begin{aligned}
 384,402\ \text{kVA} &= 20 \times I \\
 I = \frac{290}{20} &= 19,2\ \text{A} \\
 \text{kW} &= V \cdot I \cdot \cos\ \phi \\
 \text{kW} &= 20 \cdot 19,2 \cdot 0,85 \\
 &= 325,9\ \text{kW}
 \end{aligned}$$

Durasi jam dalam setahun =  $365 \times 5 = 1.825$  jam kWh jual dalam setahun apabila tanpa gangguan sebesar =  $325,9\ \text{kW} \times 1.825\ \text{jam} = \mathbf{594.753\ kWh}$ .

##### B. Section 2

$$\begin{aligned}
 276,936\ \text{kVA} &= 20 \times I \\
 I = \frac{276,936}{20} &= 13,84\ \text{A} \\
 \text{kW} &= V \cdot I \cdot \cos\ \phi \\
 \text{kW} &= 20 \cdot 13,84 \cdot 0,85 \\
 &= 235,4\ \text{kW}
 \end{aligned}$$

Durasi jam dalam setahun =  $365 \times 5 = 1.825$  jam kWh jual dalam setahun apabila tanpa gangguan sebesar =  $235,4\ \text{kW} \times 1.825\ \text{jam} = \mathbf{429.597\ kWh}$ .

##### C. Section 3

$$\begin{aligned}
 1.670,456\ \text{kVA} &= 20 \times I \\
 I = \frac{1.670,456}{20} &= 83,522\ \text{A} \\
 \text{kW} &= V \cdot I \cdot \cos\ \phi \\
 \text{kW} &= 20 \cdot 83,522 \cdot 0,85 \\
 &= 1.419,874\ \text{kW}
 \end{aligned}$$

Durasi jam dalam setahun =  $365 \times 5 = 1.825$  jam kWh jual dalam setahun apabila tanpa gangguan sebesar =  $1.419,874 \text{ kW} \times 1.825 \text{ jam} = \mathbf{2.591.270,05 \text{ kWh}}$ .

D. *Section 4*

$$\begin{aligned} 2.099,784 \text{ kVA} &= 20 \times I \\ I = \frac{2.099,7845,9}{20} &= 104,989 \text{ A} \\ \text{kW} &= V \cdot I \cdot \cos \phi \\ \text{kW} &= 20 \cdot 104,989 \cdot 0,85 \\ &= 1.784,816 \text{ kW} \end{aligned}$$

Durasi jam dalam setahun =  $365 \times 5 = 1.825$  jam kWh jual dalam setahun apabila tanpa gangguan sebesar =  $1.784,816 \text{ kW} \times 1.825 \text{ jam} = \mathbf{3.257.289,2 \text{ kWh}}$ .

E. *Section 5*

$$\begin{aligned} 2.230,118 \text{ kVA} &= 20 \times I \\ I = \frac{2.230,118}{20} &= 111,5059 \text{ A} \\ \text{kW} &= V \cdot I \cdot \cos \phi \\ \text{kW} &= 20 \cdot 111,5059 \cdot 0,85 \\ &= 1.895,6003 \text{ kW} \end{aligned}$$

Durasi jam dalam setahun =  $365 \times 5 = 1.825$  jam kWh jual dalam setahun apabila tanpa gangguan sebesar =  $1.895,6003 \text{ kW} \times 1.825 \text{ jam} = \mathbf{3.549.470,5475 \text{ kWh}}$ .

**Total kWh<sub>jual</sub> WBP dalam satu tahun:**

$$\begin{aligned} &= (\text{kWh}_{\text{section 1}} + \text{kWh}_{\text{section 2}} + \text{kWh}_{\text{section 3}} + \text{kWh}_{\text{section 4}} + \text{kWh}_{\text{section 5}}) \\ &= (594.753 + 429.597 + 2.591.270,05 + 3.257.289,2 + 3.549.470,5475) \\ &= \mathbf{10.332.379,798 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

### 4.3.3. Perhitungan SAIDI SAIFI Transline Penyulang Nguling

Berdasarkan persamaan (3), (4), dan (5) dapat dihitung nilai SAIDI SAIFI Transline Penyulang Nguling sebagai berikut:

Tabel 4. 5 Perhitungan SAIFI

Nilai SAIFI				
Transline				
Jenis Komponen	Komponen Unit Xi	Angka Keluar Lamda i	PU sistem Ci	Frekuensi Padam fi
PMT	1	0.004	1	0.004
SKTM	0.7	0.07	1	0.049
SUTM 1	9.32	0.2	1	1.864
SUTM 2	18.825	0.2	0.95	3.57675
Recloser	1	0.005	1	0.005
Trafo	52	0.005	0.012	0.00312
Rel TR	52	0.005	0.012	0.000624
Jumlah SAIFI				5.502494

Penjelasan data Komponen Unit (Xi) dari tabel diatas berdasarkan SPLN 59 1985 adalah sebagai berikut:

- A. PMT dalam satu penyulang totalnya satu. Maka memiliki nilai komponen unit = 1.
- B. SUTM 1 adalah Panjang kawat penghantar dari GI (TM11) sampai dengan Recloser Prokimal. Panjang Saluran sepanjang 1,5 kms.
- C. SUTM 2 adalah Panjang kawat penghantar dari *Outgoing Recloser* Prokimal sampai dengan ujung *transline*. Panjang Saluran sepanjang 29,24 kms.
- D. Recloser dalam satu penyulang totalnya satu. Maka memiliki nilai komponen unit = 1.
- E. Trafo distribusi pada transline berjumlah 52 unit, maka nilai komponen unitnya = 52.
- F. Rel TR nilainya sama dengan Trafo (SPLN 59 1985).
- G. Tabel standar sesuai SPLN 59 1985 mengenai Angka Keluar (Lamda i) adalah seperti gambar dibawah ini:

Tabel 4. 6 Indeks Angka Keluar

Komponen	Angka Keluar
Saluran Udara	0.2/km/tahun
Kabel saluran bawah tanah	0.07/km/tahun

Pemutus tegangan	0.004/unit/tahun
Sakelar beban	0.003/unit/tahun
Sakelar pisah	0.003/unit/tahun
Penutup balik	0.005/unit/tahun
Penyambung kabel	0.001/unit/tahun
Trafo distribusi	0.005/unit/tahun
Pelindung jaringan	0.005/unit/tahun
Rel tegangan rendah	0.001/unit/tahun

Sedangkan untuk nilai PU Sistem ( $C_i$ ) sesuai persamaan (7) sebagai berikut:

- A. Apabila PMT lepas terkena gangguan, maka seluruh sistem akan padam,  $C_i = 1$ .
- B. Apabila penghantar di SUTM 1 mengalami gangguan, maka seluruh sistem akan padam,  $C_i = 1$ .
- C. Apabila penghantar di SUTM 2 mengalami gangguan, maka sebagian sistem padam, dihitung seperti rumus diatas.
- D. Apabila Recloser mengalami anomali, atau dalam posisi lepas, gangguan dapat tembus hingga PMT, maka seluruh sistem akan padam,  $C_i = 1$ .
- E. Apabila salah satu Trafo Distribusi lepas, missal karena hubung pendek maka sistem yang padam bernilai  $= \frac{1}{\text{total trafo}}$ .
- F. Apabila salah satu Rel TR lepas, missal karena hubung pendek maka sistem yang padam bernilai  $= \frac{1}{\text{total trafo}}$ .

Tabel 4. 7 Perhitungan SAIDI

Nilai SAIDI			
Transline			
Jenis Komponen	Frekuensi Padam	Waktu	Lama Padam
	$f_i$	$t$	(jam/tahun)
PMT	0.0004	A = 0,5	0.0002
		I = 10	0.004
SKTM	0.049	A = 0,5	0.0245
		G = 5	0.245
		H = 10	0.49
SUTM 1	1.864	A = 0,5	0.932
		B = 0.16	0.29824
		F = 3	5.592
SUTM 2	3.57675	A = 0,5	1.788375
		B = 0.16	0.57228
		F = 3	10.73025
Recloser	0,005	A = 0,5	0.0025
		B = 0.16	0.0008
		I = 10	0.05
Trafo	0.00312	K = 10	0.0312
Rel TR	0.000624	M = 10	0.00624
<b>Jumlah SAIFI</b>			<b>20.767585</b>

Dalam tabel perhitungan SAIDI, nilai frekuensi padam diambil dari rumus:

$$F_i = (X_i \times C_i) \times \text{Lam dai} \quad (12)$$

Keterangan:

$F_i$  = Frekuensi Padam

$X_i$  = Komponen Unit

Lam dai = Angka Keluar sesuai tabel di SPLN 59 1985

$C_i$  = PU Sistem

Sedangkan pada kolom Waktu  $t_{ij}$ , didapat dari indeks aturan standar SPLN 59 1985, penjelasan Waktu  $t_{ij}$  secara keseluruhan, ada pada gambar berikut:

Tabel 4. 8 Waktu Operasi Kerja

Operasi kerja	Waktu/jam
A. Menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan ke G.I	0.5
A. menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan ke alat penutup kembali	1.0



B. Waktu yang dibutuhkan untuk sampai dari satu gardu ke gardu berikutnya	0.16
B. Waktu yang dibutuhkan untuk sampai dari satu gardu ke gardu berikutnya untuk sistem spot network	0.2
C. Waktu yang dibutuhkan untuk memeriksa indikator gangguan (hanya untuk sistem spindle)	0.083
D. Waktu yang dibutuhkan untuk membuka/menutup pemutus tenaga atau penutup kembali	0.25
E. Waktu yang dibutuhkan untuk membuka/menutup sakelar beban atau saklar pisah	0.15
F. Waktu yang diberikan untuk memperbaiki kawat penghantar udara	3
G. Waktu yang dibutuhkan untuk mencari lokasi gangguan pada kabel bawah tanah	5
H. Waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kabel saluran bawah tanah	10
I. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti/memperbaiki pemutus tenaga, sakelar beban, penutup kembali atau sakelar pisah	10
J. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti penyambung kabel (bulusan) untuk kabel yang berisolasi kertas	15
K. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti trafo distribusi	10
L. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti pelindung jaringan	10
M. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti/memperbaiki bus tegangan rendah	10

#### 4.3.4. Analisis Section yang Padam Ketika Terjadi Gangguan Trip Recloser

Dalam kondisi saat ini, peletakan *Recloser* Prokimal Penyulang Nguling hanya menyelamatkan dua Section saja, yaitu Section 1 dan 2. Sedangkan *Section* 3,4, dan 5 padam apabila titik gangguan berada di daerah pengamanan *Recloser*.

Berdasarkan data gangguan, titik gangguan dan daerah rawan gangguan berada di *Section* 4 dan 5. Sehingga, nantinya pemasangan *Recloser* baru akan memecah antara *Section* 4 dan 5.

#### 4.3.5. Analisis kWh Jual Ketika Terjadi Gangguan Trip Recloser

Sesuai *Section* yang diamankan *Recloser*, maka hanya *Section* 1 dan 2 saja yang perhitungan kWh jualnya aman ketika terjadi trip *Recloser*. Sedangkan *Section* 3,4, dan 5 kWh jualnya nol. Berdasarkan data gangguan, total durasi lama padam pelanggan Penyulang Nguling pada tahun 2020 sebesar 22.8 jam. Maka dapat dihitung kWh jual yang tidak tersalurkan pada tahun 2020 untuk Penyulang Nguling adalah sebagai berikut:

A. kWh Tidak Tersalurkan

$$= (\text{kW Section 3} + \text{kW Section 4} + \text{kW Section 5}) \times \text{Durasi padam}$$

B. kWh Tidak Tersalurkan LWBP

$$= (1.009,8 \text{ kW} + 1.096,687 \text{ kW} + 1.281,681 \text{ kW}) \times 18,15 \text{ jam}$$

$$= 61.495,2492 \text{ kWh dalam setahun}$$

C. kWh Tidak Tersalurkan WBP

$$= (1.419,874 \text{ kW} + 1.784,816 \text{ kW} + 1.895,86003 \text{ kW}) \times 4,65 \text{ jam}$$

$$= 23.716,35 \text{ kWh dalam setahun}$$

D. Total kWh Tidak Tersalurkan

$$= \text{kWh tidak tersalurkan LWBP} + \text{kWh tidak tersalurkan WBP}$$

$$= 61.495,2492 \text{ kWh} + 23.716,35 \text{ kWh}$$

$$= 85.211,6 \text{ kWh}$$

#### 4.3.6. Analisis Target Minimum SAIDI SAIFI Menurut Perhitungan Sesuai Rumus SPLN 59-1985 dan Sesuai SPLN 68-2 1986

Tabel 4. 9 Target SAIDI SAIFI sesuai SPLN 68-2 : 1986

TARGET SAIDI SAIFI BERDASARKAN SPLN 68-2 : 1986	
SAIDI	21.09 JAM/PLG
SAIFI	3,2 KALI/PLG

Tabel 4. 10 Target SAIDI SAIFI Penyulang Nguling

TARGET SAIDI SAIFI BERDASARKAN PERHITUNGAN IDEAL P. NGULING (SEBELUM DIPASANG RECLOSER BARU)	
SAIDI	20.7 JAM/PLG
SAIFI	5.5 KALI/PLG

Sedangkan berdasarkan data gangguan, SAIDI SAIFI Penyulang Nguling tahun 2023 adalah sebagai berikut:

**Tabel 4. 11** Nilai SAIDI SAIFI Penyulang Nguling

SAIDI	21.77 JAM/PLG	TIDAK SESUAI TARGET	X
SAIFI	21.9 KALI/PLG		X

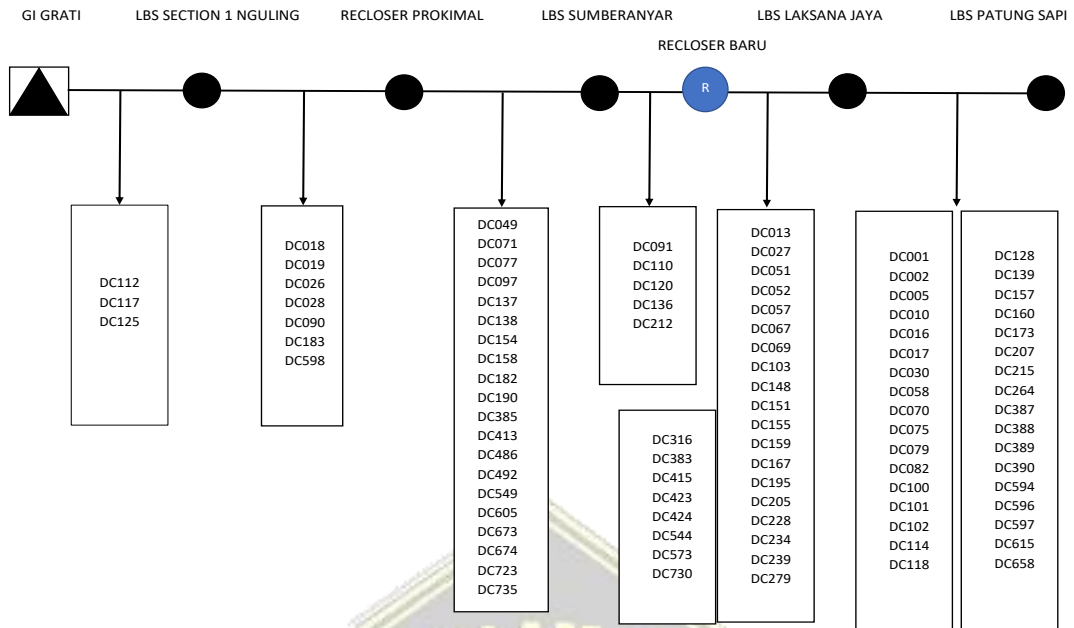
Karena hasil SAIDI SAIFI yang didapat belum sesuai target, maka untuk menekan nilai SAIDI SAIFI supaya lebih rendah, dapat dimaksimalkan dengan menyelamatkan banyak pelanggan dari pemadaman, salah satunya dengan menambah peralatan proteksi di Section yang rawan gangguan.

#### **4.4. Skenario Penempatan Recloser Baru di Penyulang Nguling**

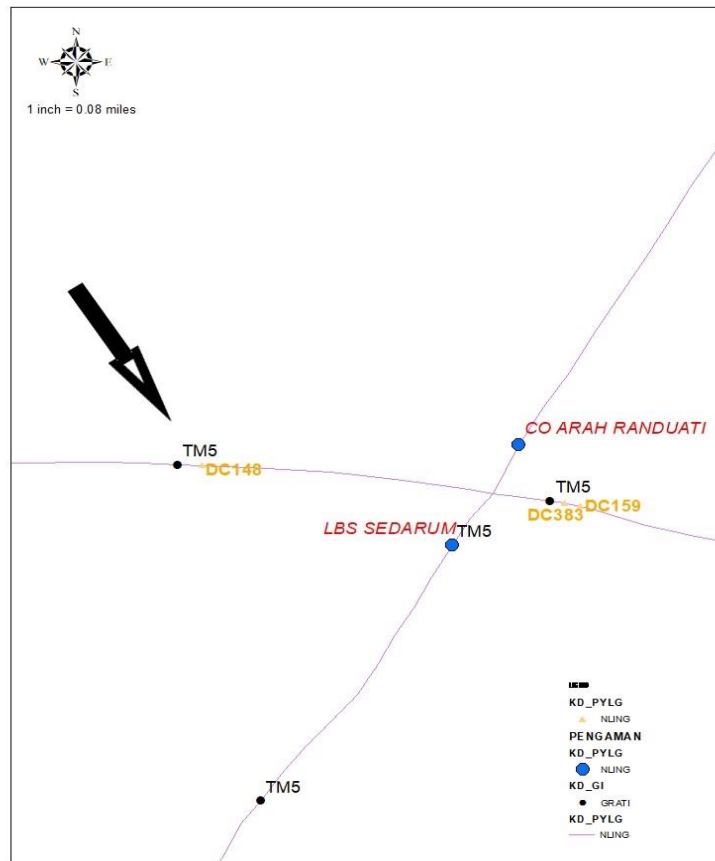
##### **4.4.1. Skenario Penempatan Recloser di Titik Gangguan**

Setelah memetakan beban, kWh jual, dan daerah rawan gangguan, dapat disimpulkan bahwa per *Section* memiliki karakteristik masing-masing dan dari pemetaan daerah rawan gangguan dan juga perhitungan beban maupun kWh yang akan dilindungi, maka *Recloser* Baru ditempatkan pada pecahan *Section* 4 dan 5, sehingga nantinya *Recloser* tersebut mampu mengamankan pelanggan di *Section* 1 sampai 3 dan Sebagian pelanggan di *Section* 4. Penempatan *Recloser* didasarkan letak konstruksi TM5 dan saat pemasangan akan ditambahkan konstruksi TM1 beserta material berupa DS untuk *outgoing* dan *incoming* penghantar. Selain itu, peletakan *Recloser* juga berdasarkan karakteristik beban per section dan data gangguan selama periode 2020, dimana *section* 3 terdapat banyak pelanggan TM yang harus diutamakan keandalannya. Dan berdasarkan data gangguan pula, pada *section* 4 dan *section* 5 adalah penyebab gangguan atau terdapat titik gangguan yang rawan.

Peletakan *Recloser* beserta *Section* yang dipecah dan total beban maupun pelanggan yang dilindungi digambarkan pada ilustrasi 2 gambar dibawah:



Gambar 4. 4 Transline Skenario Peletakan Recloser



Gambar 4. 5 Peta Peletakan Recloser

## 4.5. Perhitungan Setting Recloser

### 4.5.1. Data Peralatan

Berikut merupakan list data peralatan yang digunakan dalam penelitian:

**Tabel 4. 12** Data Trafo 1 GI Grati

Merk	UNINDO
Standarisasi	IEC 76
No. Seri	P60LEC303-01
Kapasitas Daya	42/60 MVA
Tegangan Sistem	150/20 kV
Impedansi (Z%)	12.04%
Arus Nominal	1732.1 A
Hubungan Belitan	Ynyn0(d1)
Ground Resistor	14 ohm

**Tabel 4. 13** Data Relay OCR dan GFR Incoming 150kV

Merk	MERLIN GERIN
Type	SEPAM 1000
Karakteristik	<i>Standard Inverse</i>
Frekuensi	50 Hz
Media PMT	VACCUM
Merk CT	TRAFINDO
Class CT	3
Rasio CT	3000/5 A

**Tabel 4. 14** Data Relay OCR dan GFR Outgoing 20kV

Merk	MERLIN GERIN
Type	SEPAM 1000
Karakteristik	<i>Standard Inverse</i>
Frekuensi	50 Hz
Media PMT	VACCUM
Merk CT	TRAFINDO



Class CT	3
Rasio CT	400/5 A
Z CT	200/5

**Tabel 4. 15** Data Relay Recloser Prokimal dan Recloser Baru

Merk	MERLIN GERIN
Type	SEPAM 1000
Karakteristik	<i>Standar Inverse</i>
Frekuensi	50 Hz
Media CB	SF6
Rasio CT	400/5

**Tabel 4. 16** Data Penyulang Nguling 20Kv dengan SKTM

Jenis Kabel	XLPE
Luas Penampang	240mm <sup>2</sup>
Panjang Saluran Kabel	0,7 kms
Impedansi urutan positif/negatif	0.125 + j 0.097
Impedansi urutan nol	0.275 + j 0.029

**Tabel 4. 17** Data Penyulang Nguling AAAC

Jenis Kabel	AAAC
Luas Penampang	150mm <sup>2</sup>
Panjang Saluran Kabel	48,5025 kms
Impedansi urutan positif/negatif	0.2162 + j 0.3305
Impedansi urutan nol	0.3631 + j 1.6180

**Tabel 4. 18** Data Penyulang Nguling 20Kv AAAC-S

Jenis Kabel	AAAC-S
Luas Penampang	150mm <sup>2</sup>
Panjang Saluran Kabel	16,17 kms
Impedansi urutan positif/negatif	0.2162 + j 0.3305

Impedansi urutan nol	0.3631 + j 1.6180
----------------------	-------------------

#### 4.5.2. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Data hubung singkat yang diperoleh dari Data Arus Hubung Singkat Gardu Induk (GI)/GITET Sistem Jawa-Bali sebesar 35.563 kA, maka untuk mengetahui besar MVA hubung singkat 150kV adalah:

$$\begin{aligned} \text{MVAhs bus 150 kV} &= \sqrt{3} \times V \times I_{sc} \\ &= \sqrt{3} \times 150 \times 35.563 \\ &= 9239,54 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Mencari nilai V per Unit (PU):

$$\begin{aligned} V \text{ (PU)} &= \frac{\text{kV sebenarnya}}{20 \text{ kV dasar}} \\ &= \frac{20 \text{ kV}}{20 \text{ kV}} \\ &= \mathbf{1 \text{ pu}} \end{aligned}$$

Maka, nilai  $Z_{base}$ :

$$\begin{aligned} Z_{base} &= \frac{kV^2}{\text{MVA}} \\ &= \frac{(20)^2}{60} \\ &= \mathbf{6.67 \Omega} \end{aligned}$$

Dapat ditemukan nilai I,

$$\begin{aligned} I_{base} &= \frac{kVA}{\sqrt{3} \times 20} \\ &= \frac{60000}{\sqrt{3} \times 20} \\ &= \mathbf{1732.05 \text{ A}} \end{aligned}$$

#### 4.5.3. Perhitungan Impedansi

Menentukan Impedansi Sumber pada sisi 20 kV:

$$\begin{aligned} Z_{lama} &= j \frac{kV^2}{\text{MVA}_{hs}} \\ &= j \frac{150^2}{9239,54} \end{aligned}$$

$$= j \mathbf{2.43 \Omega}$$

pada,

$$\begin{aligned} X_t (\text{pada 100 persen}) &= \frac{kV(\text{sisi bus } 2)^2}{MVA} \\ &= \frac{20^2}{60} \\ &= \mathbf{6.67 \text{ ohm}} \end{aligned}$$

sehingga,

$$\begin{aligned} X_t &= 12.04\% \times 6.67 \\ &= \mathbf{0.802 \text{ ohm}} \end{aligned}$$

Karena trafo mempunyai hubungan  $Y_{nyn0}$  yang tidak mempunyai hubungan delta didalamnya, maka besarnya  $X_{t0}$  berkisar antara 9 sampai 14 dikali  $X_t$ . Dalam perhitungan ini diambil nilai  $X_{t0}$  kurang lebih 11. Jadi  $X_{t0} = 11 \times 0.802 = \mathbf{8.82 \text{ ohm}}$ .  
Z sumber per unit (PU) sisi 150 kV:

$$\begin{aligned} Z_{pu} &= j \frac{Z \text{ lama}}{Z \text{ base}} \\ &= j \frac{2.43}{6.67} \\ &= \mathbf{j \ 0.364 \ pu} \end{aligned}$$

A. Menentukan Impedansi Trafo Sisi 30 kV

$$\begin{aligned} Z_{baru} &= Z \text{ lama} \times \left( \frac{MVA \text{ lama}}{MVA \text{ baru}} \right) \times \left( \frac{kV \text{ baru}}{kV \text{ lama}} \right)^2 \\ &= j \ 2.43 \times \left( \frac{60}{60} \right) \times \left( \frac{20}{150} \right)^2 \\ &= j \ 0.043 \end{aligned}$$

B. Menentukan Impedansi Jaringan Penyulang

Berdasarkan SPLN 64 : 1985, diketahui penghantar AAAC dan AAAC-S 150mm<sup>2</sup> adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Panjang Penghantar} &= 64,67 \text{ kms} \\ Z \text{ saluran positif, negatif} &= 0.02162 + j \ 0.3305 \\ Z \text{ saluran nol} &= 0.3631 + j \ 1.6180 \end{aligned}$$

Berdasarkan SPLN 64 : 1985, diketahui penghantar XLPE 240mm<sup>2</sup> adalah sebagai berikut:

Panjang Penghantar = 0,7 kms

$Z$  saluran positif, negatif =  $0.125 + j 0.097$

$Z$  saluran nol =  $0.275 + j 0.029$

Menentukan  $Z$  total urutan positif, negatif dan nol:

$Z_1 = Z_2 = Z \text{ lama} + Z \text{ baru} + Z \text{ saluran}$

=  $j 2.43 + j 0.043 + (Z \text{ saluran})$

$Z_0 = Z \text{ lama} + 3 R_n + Z \text{ saluran}$

=  $j 8.82 + (3 \times 14) + (Z \text{ saluran})$

**Tabel 4. 19** Saluran positif dan negatif

Letak	$Z$ saluran positif/negatif
GI	$0.5923 + j 0.00352$
Recloser Prokimal	$0.8565 + j 0.0334$
Recloser Baru	$1.6935 + j 0.177$

**Tabel 4. 20** Impedansi Penyulang ( $Z_1$  dan  $Z_2$ )

Letak	Impedansi Penyulang ( $Z_1$ dan $Z_2$ )
GI	$0.5923 + j 1.12044$
Recloser Prokimal	$0.8565 + j 1.4009$
Recloser Baru	$1.6935 + j 2.65$

**Tabel 4. 21** Impedansi Penyulang ( $Z_0$ )

Letak	Impedansi Penyulang ( $Z_0$ )
GI – Recloser Prokimal	$0.9305 + j 1.7594$
GI – Recloser Baru	$4.72102 + j 6.9297$
GI – Ujung	$7.7566 + j 12.1314$

Menghitung arus hubung singkat pada jarak sesuai Tabel (GI):

#### A. 3 Fasa

$$I_{3fasa} = \frac{v}{Z_1}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1+j0}{(0.5923 + j 1.12004)} \\
 &= \frac{1 \angle 0}{1.267 \angle 56.61} \\
 &= \mathbf{1.789 \angle -56.61^\circ \text{ A}}
 \end{aligned}$$

Jadi, Arus hubung singkat yang terjadi pada GI yaitu:

$$\begin{aligned}
 &= 1.789 \angle -56.61^\circ \text{ A} \times 1732 \\
 &= 3098.55 \angle -56.61^\circ \text{ A}
 \end{aligned}$$

### B. 2 Fasa

$$\begin{aligned}
 I_{2\text{fasa}} &= \frac{v_{ph}}{Z_1+Z_2} \\
 &= \frac{\sqrt{3} \cdot (1+j0)}{2 \cdot (0.5923 + j 1.12004)} \\
 &= \frac{1.73+j0}{1.1846+j2.24008} \\
 &= \frac{1.73 \angle 0}{2.534 \angle 56.61} \\
 &= \mathbf{0.68 \angle -56.61^\circ \text{ A}}
 \end{aligned}$$

Jadi Arus hubung singkat yang terjadi pada GI yaitu

$$\begin{aligned}
 &= (0.68 \angle -56.61^\circ \text{ A}) \times 1732 \\
 &= \mathbf{1177.76 \angle -56.61^\circ \text{ A}}
 \end{aligned}$$

### C. 1 Fasa

$$\begin{aligned}
 I_{1\text{fasa tanah}} &= \frac{3 \cdot V}{Z_1+Z_2+Z_0} \\
 &= \frac{3 \cdot (1+j0)}{2 \cdot (0.2889 + j 0.5463) + 0.9305 + j 1.7594} \\
 &= \frac{3 \cdot (1+j0)}{(0.578+j1.0926)+(0.9305 + j 1.7594)} \\
 &= \frac{3 \angle 0}{1.5085+j 2.852} \\
 &= \frac{3 \angle 0}{3.226 \angle 56.61^\circ} \\
 &= \mathbf{0.93 \angle -56.61^\circ \text{ A}}
 \end{aligned}$$

Jadi Arus hubung singkat yang terjadi pada GI yaitu

$$\begin{aligned}
 &= (0.93 \angle -56.61^\circ) \times 1732 \\
 &= \mathbf{1610.76 \angle -56.61^\circ \text{ A}}
 \end{aligned}$$

Menghitung arus hubung singkat pada jarak sesuai Tabel (*Recloser* Prokimal):

### A. 3 Fasa

$$\begin{aligned}
 I_{3\text{fasa}} &= \frac{v}{Z_1} \\
 &= \frac{1+j0}{(0.8565 + j 1.4009)}
 \end{aligned}$$



$$= \frac{1 \angle 0}{1.642 \angle 63.44}$$

$$= 0.609 \angle -63.44^\circ \text{ A}$$

Jadi Arus hubung singkat yang terjadi pada Recloser Prokimal yaitu :

$$= 0.609 \angle -63.44^\circ \text{ A} \times 1732$$

$$= 1054.78 \angle -63.44^\circ \text{ A}$$

### B. 2 Fasa

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{v_{ph}}{Z_1 + Z_2}$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot (1+j0)}{2 \cdot (0.8565 + j 1.4009)}$$

$$= \frac{1.73 + j0}{1.713 + j2.1802}$$

$$= \frac{1.73 \angle 0}{3.284 \angle 63.44}$$

$$= 0.527 \angle -63.44^\circ \text{ A}$$

Jadi Arus hubung singkat yang terjadi pada Recloser Prokimal yaitu

$$= (0.527 \angle -63.44^\circ) \times 1732$$

$$= 912.764 \angle -63.44^\circ \text{ A}$$

### C. 1 Fasa

$$I_{1\text{fasa tanah}} = \frac{3 \cdot V}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$= \frac{3 \cdot (1+j0)}{2 \cdot (0.8565 + j 1.4009) + 4.72102 + j 6.9297}$$

$$= \frac{3 \cdot (1+j0)}{1.713 + j2.1802 + (4.72102 + j 6.9297)}$$

$$= \frac{3 \angle 0}{6.43402 + j 8.3306}$$

$$= \frac{3 \angle 0}{10.526 \angle 63.44^\circ}$$

$$= 0.285 \angle -63.44^\circ \text{ A}$$

Jadi Arus hubung singkat yang terjadi pada *Recloser Prokimal* yaitu :

$$= (0.285 \angle -63.44^\circ) \times 1732$$

$$= 493.62 \angle -63.44^\circ \text{ A}$$

Menghitung arus hubung singkat pada jarak sesuai Tabel (*Recloser Baru*):

### A. 3 Fasa

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{v}{Z_1}$$

$$= \frac{1+j0}{(1.6935 + j 2.65)}$$

$$= \frac{1 \angle 0}{3.145 \angle 65.12}$$

$$= 0.318 \angle -65.12^\circ \text{ A}$$

Jadi Arus hubung singkat yang terjadi pada Recloser Baru yaitu :

$$= 0.318 \angle -65.12^\circ \text{ A} \times 1732$$

$$= 550.776 \angle -65.12^\circ \text{ A}$$

### B. 2 Fasa

$$\begin{aligned} I_{2\text{fasa}} &= \frac{v_{ph}}{Z_1+Z_2} \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot (1+j0)}{2 \cdot (1.6935 + j 2.65)} \\ &= \frac{1.73+j0}{3.387+j5.3} \\ &= \frac{1.73 \angle 0}{6.289 \angle 65.12} \\ &= 0.275 \angle -65.12^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

Jadi Arus hubung singkat yang terjadi pada Recloser Baru yaitu :

$$= (0.275 \angle -65.11^\circ) \times 1732$$

$$= 476.3 \angle -65.12^\circ \text{ A}$$

### C. 1 Fasa

$$\begin{aligned} I_{1\text{fasa tanah}} &= \frac{3 \cdot V}{Z_1+Z_2+Z_0} \\ &= \frac{3 \cdot (1+j0)}{2 \cdot (1.6935 + j 2.65) + (7.7566 + j 12.1314)} \\ &= \frac{3 \cdot (1+j0)}{3 \cdot (1+j0)} \\ &= \frac{3.387+j5.3 + (7.7566 + j 12.1314)}{3 \angle 0} \\ &= \frac{11.1436 + j 17.4314}{3 \angle 0} \\ &= \frac{20.689 \angle 65.12^\circ}{3} \\ &= 0.145 \angle -65.12^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

Jadi Arus hubung singkat yang terjadi pada Recloser Baru yaitu

$$= (0.145 \angle -65.12^\circ) \times 1732$$

$$= 251.14 \angle -65.12^\circ \text{ A}$$

#### 4.5.4. Perhitungan Setting OCR

Pada perhitungan setting relay OCR menggunakan karakteristik standard inverse. Sehingga untuk menentukan setting relay OCR di GI adalah sebagai berikut: ( $CT = 400/5$ ).

$$\begin{aligned} I_{\text{set primer}} &= 1,2 \times I_{\text{beban}} \\ &= 1.2 \times 190 \text{ A} \\ &= 250 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{set \text{ sekunder}} &= I_{set \text{ primer}} \times \text{ratio CT} \\
 &= 250 \times \frac{5}{400} \\
 &= 3.125 \text{ A}
 \end{aligned}$$

#### 4.5.4.1. Pemeriksaan Waktu Kerja PMT

Nilai arus gangguan hubung singkat yang didapat dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat adalah nilai arus primer, Untuk menghitung nilai setting TMS (*Time Multiple Setting*) pada GI nilai waktunya (t) ditentukan sebesar 0.15 detik agar saat terjadi gangguan GI segera trip.

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_{\text{fault 3 fasa}}}{I_{\text{set primer}}}\right)^{0.02} - 1}{0.14} \times t$$

$$TMS = \frac{\left(\frac{3098}{250}\right)^{0.02} - 1}{0.14} \times 0.15$$

$$TMS = 0.368 \times 0.15$$

$$TMS = 0.055 \text{ detik}$$

Menentukan *setting relay OCR* di Recloser Prokimal

$$CT = 400/5$$

$$\begin{aligned}
 I_{set \text{ primer}} &= 1,2 \times I \text{ beban} \\
 &= 1.2 \times 172 \text{ A} \\
 &= 200
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{set \text{ sekunder}} &= I_{set \text{ primer}} \times \text{ratio CT} \\
 &= 200 \times \frac{5}{400} \\
 &= 2.5 \text{ A}
 \end{aligned}$$

#### 4.5.4.2. Pemeriksaan Waktu Kerja Recloser Prokimal

Nilai arus gangguan hubung singkat yang didapat dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat adalah nilai arus primer, Untuk menghitung nilai setting TMS (*Time Multiple Setting*) pada Recloser Prokimal nilai waktunya (t)

ditentukan sebesar 1 detik agar saat terjadi gangguan, Recloser Prokimal lebih dulu trip daripada PMT.

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_{\text{fault 3 fasa}}}{I_{\text{set primer}}}\right)^{0.02} - 1}{0.14} \times t$$

$$TMS = \frac{\left(\frac{1055}{200}\right)^{0.02} - 1}{0.14} \times 1$$

$$TMS = 0.241 \times 1$$

$$TMS = 0.241 \text{ detik}$$

Menentukan *setting relay OCR* di Recloser Baru

$$CT = 400/5$$

$$I_{\text{set primer}} = 1,2 \times I \text{ beban}$$

$$= 1.2 \times 125 \text{ A}$$

$$= 150 \text{ A}$$

$$I_{\text{set sekunder}} = I_{\text{set primer}} \times \text{ratio CT}$$

$$= 150 \text{ A} \times \frac{5}{400}$$

$$= 1.875 \text{ A}$$

#### 4.5.4.3. Pemeriksaan Waktu Kerja Recloser Baru

Nilai arus gangguan hubung singkat yang didapat dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat adalah nilai arus primer, Untuk menghitung nilai setting TMS (*Time Multiple Setting*) pada *Recloser* Baru nilai waktunya (t) ditentukan sebesar 0.5 detik agar saat terjadi gangguan *Recloser* segera *trip*.

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_{\text{fault 3 fasa}}}{I_{\text{set primer}}}\right)^{0.02} - 1}{0.14} \times t$$

$$TMS = \frac{\left(\frac{551}{150}\right)^{0.02} - 1}{0.14} \times 0.5$$

$$TMS = 0.026 \times 0.5$$

$$TMS = 0.0138 \text{ detik}$$

Tabel 4. 22 Setting Relay OCR

OCR	GI	Recloser Prokimal	Recloser Baru
<i>I set primer (A)</i>	250	200	150
<i>I set sekunder (A)</i>	3.125	2.5	1.875
T (detik)	1.7	1	0.5

#### 4.5.5. Perhitungan Setting GFR (untuk fasa-tanah)

##### 4.5.5.1.PMT

Pada perhitungan *setting relay* GFR menggunakan karakteristik *standard inverse*. Sehingga untuk menentukan *setting relay GFR* di PMT adalah sebagai berikut :

$$CT = 400/5$$

$$I_{set\ primer} = 8\% \times I_{fault}$$

$$= 8\% \times 1611\ A$$

$$= 128.88\ A$$

$$I_{set\ sekunder} = I_{set\ primer} \times \text{ratio CT}$$

$$= 128.88\ A \times \frac{5}{400}$$

$$= 1.611\ A$$

Pemeriksaan Waktu Kerja PMT:

Karena waktu kerja untuk *relay* GFR disamakan dengan OCR. Maka waktu kerja dibuat 0.15 detik. Sehingga perhitungannya menjadi seperti berikut:

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_{fault\ 1\ fasa}}{I_{set\ primer}}\right)^{0.02} - 1}{0.14} \times t$$

$$TMS = \frac{\left(\frac{1611}{128.88}\right)^{0.02} - 1}{0.14} \times 0.15$$

$$TMS = 0.37 \times 0.15$$

$$TMS = 0.055$$



#### 4.5.6. Recloser Prokimal

Pada perhitungan *setting relay* GFR menggunakan karakteristik *standard inverse*. Sehingga untuk menentukan *setting relay GFR* di Recloser Prokimal adalah sebagai berikut :

$$CT = 400/5$$

$$\begin{aligned} I_{set \text{ primer}} &= 10\% \times I_{\text{fault}} \\ &= 10\% \times 494 \text{ A} \\ &= 49.4 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{set \text{ sekunder}} &= I_{set \text{ primer}} \times \text{ratioCT} \\ &= 49.4 \text{ A} \times \frac{5}{400} \\ &= 0.6175 \text{ A} \end{aligned}$$

Pemeriksaan Waktu Kerja Recloser Prokimal:

Karena waktu kerja untuk *relay* GFR disamakan dengan waktu kerja *relay* OCR. Maka waktu kerja dibuat 1 detik. Sehingga perhitungannya menjadi seperti berikut :

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_{\text{fault 1 fasa}}}{I_{set \text{ primer}}}\right)^{0.02} - 1}{0.14} \times t$$

$$TMS = \frac{\left(\frac{494}{49.4}\right)^{0.02} - 1}{0.14} \times 1$$

$$TMS = 0.2 \times 1$$

$$TMS = 0.2$$

#### 4.5.7. Recloser Baru

Pada perhitungan *setting relay* GFR menggunakan karakteristik *standard inverse*. Sehingga untuk menentukan *setting relay GFR* di Recloser Baru adalah sebagai berikut:

$$CT = 400/5$$

$$\begin{aligned} I_{set \text{ primer}} &= 12\% \times I_{\text{fault}} \\ &= 12\% \times 252 \text{ A} \\ &= 30.24 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{set \text{ sekunder}} &= I_{set \text{ primer}} \times \text{ratioCT} \\
 &= 30.24 \text{ A} \times \frac{5}{400} \\
 &= 0.378 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Pemeriksaan Waktu Kerja Recloser Baru:

Karena waktu kerja untuk *relay* GFR disamakan dengan waktu kerja *relay* OCR. Maka waktu kerja dibuat 0.5 detik. Sehingga perhitungannya menjadi seperti berikut:

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_{\text{fault 1 fasa}}}{I_{\text{set primer}}}\right)^{0.02} - 1}{0.14} \times t$$

$$TMS = \frac{\left(\frac{252}{30.24}\right)^{0.02} - 1}{0.14} \times 0.5$$

$$TMS = 0.3094 \times 0.5$$

$$TMS = 0.154$$

Tabel 4. 23 Setting Relay GFR

GFR	PMT	RECLOSER PROKIMAL	RECLOSER BARU
<i>I set primer</i>	128.8	49.4	30.24
<i>I set sekunder</i>	1.6	0.6175	0.378
T (detik)	1.7	1	0.5

#### 4.6. Perhitungan SAIDI SAIFI Setelah Pemasangan Recloser Baru

Setelah menentukan skenario dan setting *Recloser*, perhitungan SAIDI SAIFI setelah pemasangan Recloser baru mengalami perbaikan, dijelaskan dalam tabel sebagai berikut:

**Tabel 4. 24** Perhitungan SAIFI Setelah Pemasangan Recloser

Nilai SAIFI				
Transline				
Jenis Komponen	Komponen Unit	Angka Keluar	PU sistem	Frekuensi Padam
	Xi	Lamda i	Ci	fi
PMT	1	0.004	1	0.004
SKTM	0.7	0.07	1	0.049
SUTM 1	9.32	0.2	1	1.864
SUTM 2	7.47	0.2	0.954876	1.42658
SUTM 3	11.447	0.2	0.705092	1.61423
Recloser	2	0.005	1	0.01
Trafo	52	0.005	0.012	0.00312
Rel TR	52	0.005	0.012	0.000624
Jumlah SAIFI				4.971554

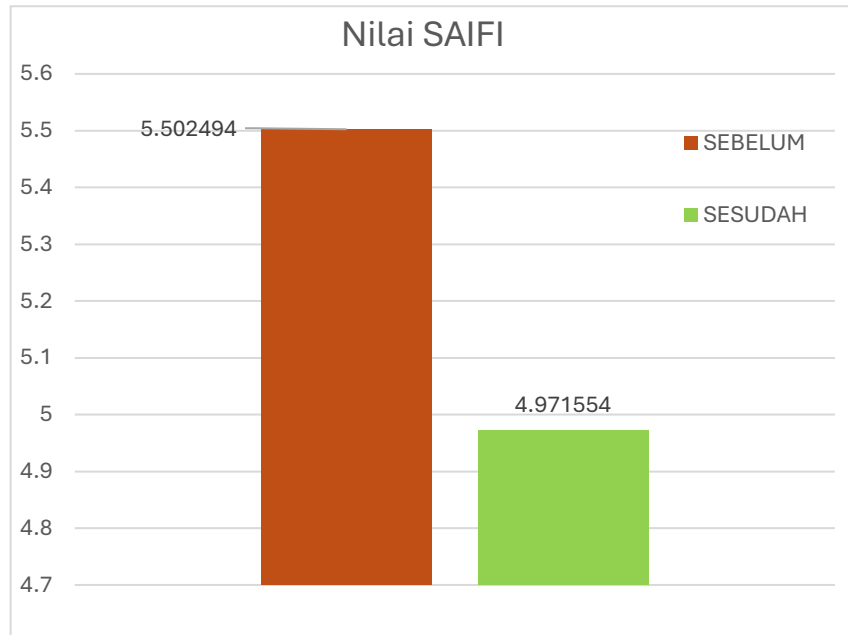
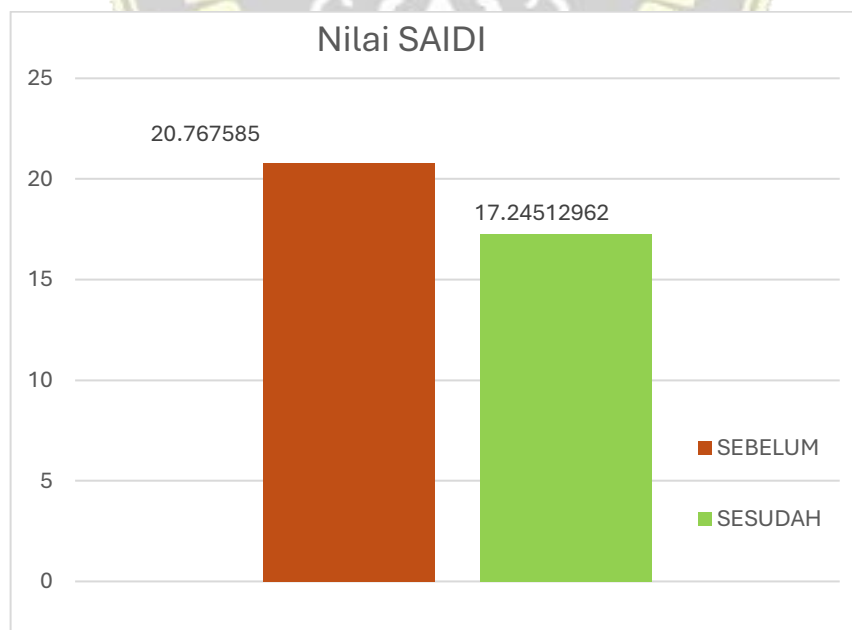
**Tabel 4. 25** Perhitungan SAIDI Setelah Pemasangan Recloser

Nilai SAIDI			
Transline			
Jenis Komponen	Frekuensi Padam	Waktu	Lama Padam
	fi	t	(jam/tahun)
PMT	0.0004	A = 0,5	0.0002
		I = 10	0.004
SKTM	0.049	A = 0,5	0.0245
		G = 5	0.245
		H = 10	0.49
SUTM 1	1.864	A = 0,5	0.15
		B = 0.16	0.048
		F = 3	0.9
SUTM 2	0.21007272	A = 0,5	0.1050364
		B = 0.16	0.0336116
		F = 3	0.6302182
SUTM 3	3.968257776	A = 0,5	1.9841289
		B = 0.16	0.6349212
		F = 3	11.904773
Recloser	0,005	A = 0,5	0.0025
		B = 0.16	0.0008
		I = 10	0.05
Trafo	0.00312	K = 10	0.0312
Rel TR	0.000624	M = 10	0.00624
Jumlah SAIFI			17.24513

**Tabel 4. 26** SAIDI SAIFI Setelah Pemasangan Recloser

TARGET SAIDI SAIFI BERDASARKAN PERHITUNGAN IDEAL P. NGULING (SETELAH DIPASANG RECLOSER BARU)	
SAIDI	17.2 JAM/PLG
SAIFI	4.9 KALI/PLG

Hasil dari pemasangan Recloser baru mampu menekan nilai SAIDI SAIFI menjadi seperti tabel diatas:

**Grafik 4. 1** Grafik Perbandingan Nilai SAIFI sebelum-sesudah**Grafik 4. 2** Grafik Perbandingan Nilai SAIDI sebelum-sesudah

#### 4.7. Analisis Jumlah Pelanggan dan kWh Jual yang Terselamatkan Setelah Pemasangan Recloser Baru

Peletakan *Recloser* baru didasarkan pada letak titik gangguan dan daerah rawan gangguan menurut temuan tim inspeksi. TM 5 sebelum trafo DC148 menjadi titik tumpu *Recloser* baru diletakkan, apabila titik gangguan berada di area yang di proteksi, maka pelanggan yang terlindungi adalah pelanggan di Section 1,2,3 dan sebagian pelanggan di Section 4. Analisa jumlah pelanggan padam dan kWh jual yang terselamatkan dijelaskan pada tabel berikut:

**Tabel 4. 27** Data Jumlah Pelanggan dan kWh jual Penyulang Nguling

Section	Jumlah	WBP (kW)	LWBP (kW)	kWh WBP	kWh LWBP
<b>1</b>	<b>630</b>	<b>325.89</b>	<b>165.47</b>	<b>594.75</b>	<b>1147.53</b>
DC112	277	97.30	48.90	177.57	339.10
DC117	352	169.11	86.64	308.62	600.82
DC125	1	59.49	29.94	108.56	207.61
<b>2</b>	<b>468</b>	<b>235.40</b>	<b>94.14</b>	<b>429.60</b>	<b>652.87</b>
DC018	6	2.66	1.45	4.85	10.02
DC019	1	33.43	17.10	61.01	118.60
DC026	1	18.13	9.44	33.09	65.43
DC028	1	54.44	21.25	99.35	147.37
DC090	123	2.49	2.27	4.54	15.71
DC183	334	45.86	23.04	83.70	159.81
DC598	2	78.39	19.60	143.06	135.93
<b>3</b>	<b>5200</b>	<b>1419.89</b>	<b>1009.81</b>	<b>2591.29</b>	<b>7003.00</b>
DC049	244	56.35	48.20	102.84	334.29
DC071	1	41.31	66.22	75.39	459.22
DC077	1	19.82	23.71	36.17	164.42
DC097	255	33.43	16.82	61.01	116.66
DC137	187	94.75	48.95	172.91	339.44
DC138	416	36.97	23.72	67.46	164.51
DC154	283	102.97	82.86	187.92	574.65
DC158	1	70.21	50.68	128.13	351.44
DC182	3	97.30	56.22	177.57	389.88
DC190	290	64.78	44.28	118.22	307.09
DC385	600	113.17	57.05	206.54	395.66
DC413	691	100.19	84.78	182.85	587.98
DC486	309	138.55	81.35	252.85	564.19
DC492	120	18.81	32.13	34.33	222.82
DC549	464	70.10	39.72	127.93	275.45
DC605	382	41.31	51.75	75.39	358.90
DC673	297	93.82	67.64	171.22	469.09
DC674	603	92.59	76.99	168.98	533.90
DC723	1	87.61	43.81	159.89	303.79
DC735	52	45.86	12.92	83.70	89.62



**Tabel 4. 28** Data Jumlah Pelanggan dan kWh jual Penyulang Nguling – Lanjutan 1

<b>4</b>	<b>8757</b>	<b>1784.82</b>	<b>1096.68</b>	<b>3257.29</b>	<b>7605.50</b>
DC013	385	51.99	25.60	94.89	177.55
DC027	202	37.47	21.07	68.38	146.11
DC051	1	31.69	46.01	57.83	319.11
DC052	1	28.78	42.96	52.52	297.96
DC057	173	26.48	25.57	48.33	177.31
DC067	1	22.29	36.32	40.68	251.88
DC069	309	71.78	35.90	131.00	248.94
DC091	1	64.53	32.61	117.76	226.18
DC103	1	45.51	3.03	83.06	21.00
DC110	1	18.81	9.39	34.33	65.14
DC120	1	6.22	3.03	11.35	20.99
DC136	1	28.35	27.77	51.74	192.59
DC148	1	39.46	27.38	72.01	189.87
DC151	446	5.54	7.41	10.11	51.40
DC155	137	38.92	19.46	71.03	134.97
DC159	894	8.23	3.69	15.01	25.58
DC167	406	37.95	18.97	69.27	131.57
DC195	405	71.32	34.82	130.17	241.45
DC205	185	85.35	51.01	155.76	353.74
DC212	549	134.11	138.99	244.75	963.91
DC228	1	36.97	18.07	67.46	125.32
DC234	317	6.22	3.21	11.35	22.26
DC239	308	63.33	41.34	115.57	286.69
DC279	1	50.54	46.74	92.23	324.14
DC316	575	91.13	49.40	166.32	342.59
DC383	325	87.61	43.81	159.89	303.79
DC384	325	66.49	46.79	121.34	324.48
DC415	570	75.61	38.80	137.99	269.08
DC423	440	76.76	38.38	140.09	266.15
DC424	371	59.53	29.76	108.63	206.38
DC544	211	33.88	20.29	61.83	140.68
DC573	814	169.11	81.83	308.62	567.50
DC730	399	112.87	27.28	205.98	189.19

Tabel 4. 29 Data Jumlah Pelanggan dan kWh jual Penyulang Nguling – Lanjutan 2

<b>5</b>	<b>9278</b>	<b>1895.60</b>	<b>1276.58</b>	<b>3459.47</b>	<b>8853.11</b>
DC001	263	52.74	30.71	96.24	212.97
DC002	100	12.26	6.03	22.37	41.81
DC005	412	50.16	25.12	91.54	174.19
DC010	390	75.60	37.81	137.96	262.20
DC016	432	61.39	41.19	112.03	285.65
DC017	545	79.85	67.93	145.72	471.10
DC030	249	42.38	21.34	77.35	148.02
DC058	457	84.71	92.45	154.60	641.13
DC070	1	67.11	33.55	122.47	232.67
DC075	352	59.49	31.50	108.56	218.48
DC079	26	63.33	31.58	115.57	219.00
DC082	1	21.00	10.68	38.33	74.04
DC100	251	99.55	50.61	181.68	351.00
DC101	189	61.21	30.61	111.71	212.27
DC102	98	97.57	40.57	178.06	281.36
DC114	1	32.64	20.57	59.57	142.64
DC118	1	75.67	55.47	138.09	384.68
DC128	1	40.32	32.99	73.59	228.82
DC139	161	88.18	44.09	160.93	305.77
DC157	526	17.20	15.34	31.40	106.40
DC160	230	90.99	103.48	166.06	717.61
DC173	460	93.18	90.17	170.05	625.34
DC207	726	33.29	16.64	60.75	115.42
DC215	1	94.75	47.61	172.91	330.20
DC264	428	32.57	32.41	59.44	224.77
DC387	216	42.35	42.35	77.30	293.73
DC388	327	33.43	23.71	61.01	164.42
DC389	158	26.20	13.17	47.82	91.33
DC390	141	19.09	9.54	34.84	66.17
DC594	767	100.81	51.14	183.97	354.63
DC596	210	12.64	33.00	23.07	228.86
DC597	481	67.11	33.89	122.47	235.02
DC615	93	54.44	54.44	99.35	377.54
DC658	584	12.40	4.89	22.64	33.89
<b>Total</b>	<b>24333</b>	<b>5661.59</b>	<b>3642.68</b>	<b>10332.40</b>	<b>25262.01</b>

Jika berdasarkan kondisi awal, dimana hanya bergantung pada proteksi Recloser Prokimal saja, maka kondisi jumlah pelanggan dan kWh jual yang terselamatkan hanya ada pada Section 1 dan 2 saja. Dengan jumlah pelanggan aman sebanyak 1.098 pelanggan dan kWh jual yang terselamatkan sebanyak 1.024,35 kWh pada WBP dan 1.800,4 pada LWBP.

**Tabel 4. 30** Data Awal kWh jual Penyulang Nguling

KONDISI AWAL			
SECTION	JUMLAH PELANGGAN AMAN	KWH TERSELAMATKAN	
		WBP	LWBP
1	630	83.70	159.81
2	468	75.39	459.22
TOTAL	1098	159.09	619.03

Namun, setelah pemasangan Recloser Baru, Jumlah Pelanggan yang aman dan kWh jual yang terselamatkan adalah Section 1,2,3 dan Sebagian pelanggan di Section 4 meliputi pelanggan di trafo DC091, DC110, DC120, DC136, DC212, dan DC384.

Maka total jumlah pelanggan yang aman sebanyak 7176 pelanggan dan kWh jual yang terselamatkan sebesar 4196.91 kWh pada WBP dan 10596.69 kWh pada LWBP.

**Tabel 4. 31** Data Perhitungan kWh jual Setelah Pemasangan Recloser

KONDISI SETELAH PEMASANGAN RECLOSER BARU			
SECTION	JUMLAH PELANGGAN AMAN	KWH TERSELAMATKAN	
		WBP	LWBP
1	630	594.75	1147.53
2	468	429.60	652.87
3	5200	2591.29	7003.00
SEBAGIAN PELANGGAN SECTION 4 DC091, DC110, DC120, DC136, DC212, DC384	878	581.26	1793.29
TOTAL	7176	4196.91	10596.69

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, adapun beberapa kesimpulan yang dapat dirumuskan, yakni:

- A. Dari data gangguan Penyulang Nguling yang ada di ULP Grati, selama periode tahun 2023-2024 bulan Maret terjadi gangguan sebanyak 24 kali yang menyebabkan Recloser Prokimal sebagai pembatas di Zona 1 lepas sehingga pelanggan di section berikutnya turut padam. Hal ini menyebabkan penyaluran energi dan kontinuitas penyaluran tenaga listrik terganggu. Data kWh jual sebelum dipasang Recloser tambahan adalah 1.024,35 kWh dengan nilai SAIDI dan SAIFI masing-masing 21.77 jam/pelanggan dan 21.9 kali/pelanggan.
- B. Dibuat skenario rekomendasi untuk meningkatkan keandalan Penyulang Nguling dengan Penambahan Recloser Baru pada pecahan section 4 dan 5, sehingga Recloser tersebut mampu mengamankan pelanggan di Section 1 sampai 3 dan sebagian pelanggan di section 4.
- C. Setelah dilaksanakan skenario penambahan Recloser kWh jual yang terselamatkan sebesar 4157.815 kWh dengan nilai SAIDI dan SAIFI masing-masing 17.2 jam/pelanggan dan 4.9 kali/pelanggan.

### **5.2. Saran**

Untuk meningkatkan keandalan dan meningkatkan mutu penyaluran tenaga listrik Penyulang Nguling di ULP Grati perlu dilakukan perubahan atau penambahan Recloser di titik atau zona yang sudah dianalisis karena sudah terbukti bahwa skenario rekomendasi tersebut sangat membantu dalam peningkatan kWh jual serta peningkatan SAIDI SAIFI. Selain itu, untuk mengurangi potensi gangguan, perlu meningkatkan pelaksanaan pemeliharaan rutin yang meliputi pemeliharaan gardu distribusi, pemeliharaan ROW dan lain-lain.

Selain itu, untuk menjaga seutuhnya keandalan, ULP Grati perlu melakukan uprating penghantar untuk mengurangi drop voltage yang ada. Dikarenakan pertumbuhan beban yang semakin banyak dan juga gangguan yang kebanyakan

disebabkan oleh pepohonan juga hewan, maka uprating penghantar seharusnya juga mempertimbangkan isolasi penghantar. Selain dengan uprating penghantar, solusi lain untuk meminimalkan *drop voltage* adalah dengan melakukan *manuver* beban ke penyulang lain yang kapasitas penghantar dan kualitas penyaluran energinya lebih baik. Tentunya butuh kajian lebih lanjut untuk lebih menyempurnakan kembali Penyulang Nguling.





### DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Simanjuntak, S. Syafriyudin and B. Firman, "Analisis Keandalan Penempatan Recloser Dan Besar Arus Hubung Singkat di PT. PLN (Persero) Distribusi Area Yogyakarta," *Jurnal Elektrikal*, pp. 41-47, 2019.
- [2] A. Silaban, "Studi tentang Penggunaan Recloser pada Sistim Jaringan Distribusi 20 KV," <https://repositori.usu.ac.id/>, 2009.
- [3] F. Firdaus and T. Harison, "Analisa Rekonfigurasi pada Feeder Sibuk untuk Mengurangi Rugi-Rugi Daya dan Drop Tegangan dengan Menggunakan Etap 12.6.0," *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, pp. 1-4, 2017.
- [4] T. A. Short, *Electric Power Distribution Equipment and Systems*, Boca Raton: CRC Press, 2018.
- [5] Siswanto, "Optimal Power Flow the Sulselrabar 150 KV system before and after the penetration of wind power plants considering power loss and generation costs," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020.
- [6] B. Pamungkas, A. Tarigan and M. Fahreza, "Analisis Penurunan Jatuh Tegangan dan Losses akibat Sambungan Deret dengan Penambahan Jaringan Tegangan Rendah serta Rekonfigurasi Sambungan Rumah," *jse*, p. 8676–8690, 2024.
- [7] R. A. Duyo, "Analisis Penyebab Gangguan Jaringan Pada Distribusi Listrik Menggunakan Metode Fault Tree Analysis di PT. PLN (Persero) Rayon Daya Makassar," *Jurnal Teknik Elektro UNISMUH*, 2020.
- [8] L. T. Parulian, "Studi Analisa Sistem Proteksi Trafo 150 kV Daya 60 mVa Menggunakan Rele Diferensial Pada Gardu Induk Tebing Tinggi," *UHN Repository*, 2019.
- [9] L. Maridah, "Analisis Koordinasi Sistem Proteksi Over Current Relay (OCR) Pada Penyulang Tamansari PT. PLN (Persero) Up3 Tasikmalaya Menggunakan Software Etap 16.0.0," *Universitas Siliwangi*, 2024.

[10] PLN, Keandalan pada Sistem Distribusi 20kV dan 6kV, Jakarta: SPLN 59, 1985.

[11] PLN, Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik, PLN: SPLN 68-2, 1986.

