

# **TUGAS AKHIR**

## **ANALISA PENEMPATAN *RECLOSER* TERHADAP KEANDALAN SISTEM TENAGA LISTRIK DI JARINGAN DISTRIBUSI DI PT. PLN (PERSERO) ULP DELI TUA**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik  
universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**RIZKY WANSYAH**

2007220079



# **UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

**MEDAN**

**2025**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Rizky Wansyah

NPM : 2007220079

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisa Penempatan Recloser Terhadap Keandalan Sistem Tenaga Listrik Di Jaringan Distribusi Di PT PLN (Persero) ULP Deli Tua

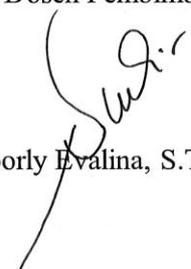
Bidang Ilmu : Sistem Kontrol

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

Medan, 4 Juni 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing

  
Noorly Evalina, S.T., M.T

Dosen Penguji I

  
Ir. Abdul Azis Hutasuhut MM.

Dosen Peguji II

  
Dr. Elvy Sahnur Nasution

Program Studi Teknik Elektro  
Ketua,

  
Dr. Elvy Sahnur Nasution

## LEMBAR PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN

Kami yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa skripsi yang berjudul di bawah ini:

Analisa Penempatan Recloser Terhadap Keandalan Sistem Tenaga Listrik Di Jaringan Distribusi Di PT. PLN (Persero) ULP Deli Tua.

Ditulis oleh Mahasiswa/i yang bernama:

Rizky Wansyah

NPM: 2007220079

untuk kemudian disebut sebagai Pihak ke-1,

adalah benar merupakan sebagian hasil dari penelitian Dosen yang melibatkan Mahasiswa/i (Pihak ke-1) di bawah ini:

Judul penelitian : Analisa Penempatan Recloser Terhadap Keandalan Sistem Tenaga Listrik Di Jaringan Distribusi Di PT. PLN (Persero) ULP Deli Tua.

Nama dosen : Noorly Evalina, S.T., M.T.

Jenis penelitian : Mandiri

Nomor kontrak/Wa : 0895-0644-5143

untuk kemudian disebut sebagai Pihak ke-2.

Untuk itu Pihak ke-2 berhak mempublikasikan isi Skripsi seluruhnya tanpa harus meminta izin dari Pihak ke-1. Sedangkan Pihak ke-1 wajib meminta izin terlebih dahulu kepada Pihak ke-2 bila ingin mempublikasikan isi Skripsi ini.

Demikian Surat Pernyataan dan Persetujuan ini dibuat dengan sebenarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Medan, 16 Oktober 2022

Yang membuat pernyataan dan persetujuan:

Pihak ke-2 (Dosen)



(Noorly Evalina S.T., M.T.)

Pihak ke-1 (Mahasiswa/i)



(Rizky Wansyah)  
NPM: 2007220079

Diketahui oleh:

Ketua Program Studi Teknik Elektro



(Dr. Elvy Sahnur Nasution)

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Rizky Wansyah

Tempat/ Tanggal Lahir : Bintuju / 08 Desember 2002

NPM : 2007220079

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

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

**“Analisa Penempatan Recloser Terhadap Keandalan Sistem Tenaga Listrik Di Jaringan Distribusi Di PT PLN (Persero) ULP Deli Tua”,**

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

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

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

Medan, 4 Juni 2025

Saya yang menyatakan,



Rizky Wansyah

## KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah yang Maha pengasih lagi Maha penyayang tidak ada kata yang lebih indah selain puji dan Syukur kepada Allah SWT yang telah menetapkan segala sesuatu sehingga tiada sehelai daun yang jatuh tanpa izinnya. Alhamdulillah atas izin-nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini yang berjudul “Analisa Penempatan *Recloser* Terhadap Keandalan Sistem Tenaga Listrik Di Jaringan Distribusi Di PT. PLN (Persero) ULP Deli Tua” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU) Medan.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada orang-orang yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Orang tua saya yang telah mendukung saya dalam keadaan apapun untuk menuliskan tugas akhir ini.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Ibu Dr. Elvy Sahnur Nasution.. selaku ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Benny Oktrialdi. S.T., M.T. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Noorly Evalina, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumater Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik elektroan kepada penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

8. Teman-teman Seperjuangan Teknik Elektro Stambuk 2020.

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

Medan, 1 Agustus 2024

Rizky Wansyah

## **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penempatan Recloser terhadap keandalan sistem tenaga listrik pada jaringan distribusi 20 kV di PT. PLN (Persero) ULP Deli Tua. Keandalan sistem distribusi menjadi elemen penting dalam menjaga kontinuitas pasokan listrik ke pelanggan. Salah satu upaya peningkatan keandalan sistem adalah dengan pemasangan Recloser yang berfungsi sebagai alat proteksi otomatis untuk meminimalisir area terdampak gangguan dan mempercepat pemulihan sistem. Penelitian dilakukan melalui pengumpulan data gangguan, perhitungan indeks keandalan SAIDI (System Average Interruption Duration Index) dan SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), serta analisa terhadap lokasi optimal pemasangan Recloser. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penempatan Recloser secara tepat dapat menurunkan nilai SAIDI dan SAIFI secara signifikan, yang berarti frekuensi dan durasi pemadaman dapat diminimalisir. Selain itu, penelitian juga membandingkan kinerja Recloser terhadap peralatan proteksi lain seperti Fuse Cut Out (FCO) dalam mengisolasi gangguan. Melalui simulasi dan perhitungan, disimpulkan bahwa penggunaan Recloser dengan koordinasi proteksi yang tepat dapat meningkatkan keandalan distribusi tenaga listrik serta mengurangi luas wilayah terdampak gangguan. Penelitian ini memberikan rekomendasi penempatan Recloser berdasarkan data gangguan aktual, dengan mempertimbangkan efisiensi proteksi serta efisiensi operasional sistem distribusi.

Kata kunci: Recloser, keandalan, distribusi, SAIDI, SAIFI, gangguan, proteksi, Fuse Cut Out, sistem tenaga, PLN.

## **ABSTRACT**

*This study aims to analyze the placement of reclosers in improving the reliability of the 20 kV electrical distribution system at PT. PLN (Persero) ULP Deli Tua. Distribution system reliability is a crucial element in maintaining continuous electricity supply to consumers. One of the efforts to enhance system reliability is the installation of reclosers, which function as automatic protection devices to minimize the affected area during disturbances and to accelerate system recovery. The research was conducted by collecting disturbance data, calculating the reliability indices SAIDI (System Average Interruption Duration Index) and SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), and analyzing the optimal placement locations of reclosers. The results show that proper recloser placement significantly reduces both SAIDI and SAIFI values, indicating that the frequency and duration of power outages can be minimized. The study also compares the performance of reclosers with other protective devices such as Fuse Cut Outs (FCOs) in isolating faults. Through simulations and calculations, it is concluded that the use of reclosers, with proper protection coordination, can enhance power distribution reliability and reduce the impact area of disturbances. This research provides recommendations for recloser placement based on actual disturbance data, considering both protection efficiency and operational efficiency of the distribution system.*

*Keywords : Recloser, reliability, distribution, SAIDI, SAIFI, disturbance, protection, Fuse Cut Out, power system, PLN.*

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan .....	5
2.2. Jaringan Distribusi Tenaga Listrik.....	6
2.3 Keandalan Sistem Tenaga Listrik .....	8
2.4. Pengertian Recloser .....	9
2.5. Pemadaman Listrik.....	9
2.6 Bentuk Konfigurasi Jaringan Distribusi .....	11
2.6.1 Jaringan Distribusi Tipe <i>Radial</i> .....	12
2.6.2 Jaringan Distribusi Tipe Ring / Loop.....	13
2.6.4 Jaringan Distribusi Tipe Spindel .....	15
2.7. Automatic Circuit Recloser (ACR).....	16
2.7.2 Multi Shot Reclosing Relay .....	21
2.7.3 Jenis Rele Berdasarkan Pengamannya Berserta Settingannya .....	22
2.7.4 Selang Waktu Penutup Balik Reclose.....	23
2.7.7 Operasi Kontrol.....	28
2.8.1 Pemilihan Fuse Cut Out .....	29
2.8.2 Prinsip kerja Fuse Cut Out.....	30
2.8.3 Cara kerja Fuse Cut Out.....	31
2.9 Sistem Koordinasi Recloser dan Fuse Cut Out .....	32
2.10 Gangguan Hubung Singkat .....	33

2.11. Gangguan Hubung Tanah .....	38
2.12. Gangguan Beban Lebih .....	41
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>43</b>
3.1 Tempat dan waktu penelitian.....	43
3.2 Alat Penelitian .....	43
3.3 Metode Penelitian .....	43
3.4 Diagram Air Penelitian.....	44
3.4.1 Waktu .....	45
3.5. Tabel perolehan data .....	45
<b>BAB VI.....</b>	<b>46</b>
4.1 Analisis Pengaruh Pemasangan <i>Recloser</i> Terhadap Keandalan Sistem Distribusi	46
4.3 Estimasi Pengurangan Frekuensi dan Durasi Gangguan.....	56
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>64</b>
5.1 Kesimpulan .....	64
5.2 Saran .....	64
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>65</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Konfigurasi Jaringan Radial .....	13
<b>Gambar 2.2</b> Konfigurasi Jaringan Loop .....	15
<b>Gambar 2.3</b> Konfigurasi Jaringan Spindel .....	16
<b>Gambar 2.4</b> Recloser Tipe VWVE .....	17
<b>Gambar 2.5</b> Diagram Blok <i>Recloser</i> .....	25
<b>Gambar 2.6</b> Bentuk Buka Tutup Hingga Terkunci Dari <i>Recloser</i> .....	26
<b>Gambar 2.7</b> Urutan Operasi Recloser Gangguan Permanen .....	26
<b>Gambar 2.8</b> Urutan Operasi Recloser Gangguan Sementara .....	27
<b>Gambar 4.1</b> Single Line Diagram Penyulang 20 kV .....	47
<b>Gambar 4.2</b> Grafik Estimasi Pengurangan Frekuensi dan Durasi Gangguan Pada Recloser .....	59

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> Waktu Penelitian .....	43
<b>Tabel 3.2</b> Data Perhitungan Gangguan Pada PT. PLN (Persero) ULP Deli Tua.....	46
<b>Tabel 4.1</b> Data Perhitungan Gangguan Pada PT. PLN (Persero) ULP Deli Tua.....	53
<b>Tabel 4.2</b> Estimasi Pengurangan Frekuensi dan Durasi Gangguan Pada Recloser .....	58

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Jaringan distribusi adalah suatu saluran atau jaringan yang menghubungkan dari sumber daya listrik besar (gardu induk) dengan para konsumen atau pemakai listrik baik itu pabrik, industri, atau rumah tangga. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*bulk power source*) sampai ke konsumen. Sistem tenaga listrik berperan paling penting dalam pemenuhan kebutuhan listrik masyarakat. Oleh karena itu sistem distribusi selalu di tuntut untuk memiliki keandalan yang baik. Semakin sering suatu jaringan distribusi mengalami gangguan maka kontinuitas penyaluran energi listrik juga akan semakin buruk untuk dapat mengatasi hal tersebut dibutuhkan peralatan proteksi yang dapat mengatasi gangguan diantaranya *Recloser*. *Recloser* adalah suatu peralatan proteksi yang berfungsi untuk meminimalisir daerah yang terkena dampak gangguan. Untuk menguji formulasi yang diusulkan dalam penelitian dilakukan pada sistem jaringan distribusi 20kV di PT. PLN (Persero) ULP Deli Tua. Untuk penempatan *Recloser* dapat di ambil dari hasil nilai SAIFI dan SAIDI yang terkecil. Namun, dalam penyaluran tersebut sering kali terjadi hambatan seperti halnya gangguan pada sistem jaringan tenaga listrik. Gangguan yang paling sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan satu fasa ketanah. Gangguan tersebut sering terjadi pada jaringan 1 fasa. Untuk menekan gangguan yang sering terjadi pada jaringan tenaga listrik terutama pada percabangan satu fasa yang memiliki arus gangguan yang relatif kecil namun sering terjadi, maka perlu diperhatikan keandalan proteksi pada sistem jaringan listrik satu fasa tersebut.

Terdapat dua jenis jaringan dalam penyaluran tenaga listrik. Pertama adalah jaringan distribusi primer, yang berguna untuk mengirimkan tenaga listrik dari gardu induk (GI) ke pusat beban (gardu distribusi). Sedangkan jaringan distribusi sekunder merupakan penyaluran tenaga listrik yang dimulai dari transformator dan diteruskan kepada setiap konsumen yang membutuhkannya. Pada jaringan listrik

tegangan menengah (JTM), terdapat beberapa perangkat proteksi yang dipasang untuk menjaga keandalan jaringan dan mengurangi kemungkinan terjadinya pemadaman. Perangkat-perangkat tersebut meliputi pemutus (PMT), *Recloser*, pemutus sirkuit yang dipasang di tiang (PMCB), pengaman pemutusan arus lebih (FCO), dan penangkal petir. Proteksi tenaga listrik adalah sistem pengaman yang dipasang dalam sistem tenaga listrik untuk mengantisipasi gangguan yang mungkin terjadi.[1].

Gangguan tersebut dapat disebabkan oleh faktor eksternal maupun internal dalam jaringan distribusi listrik terdapat berbagai jenis sistem proteksi yang digunakan dalam jaringan listrik, seperti proteksi rele, proteksi arus lebih, proteksi tegangan, proteksi diferensial, proteksi urutan fasa negatif, proteksi daya balik, proteksi jarak, pemutus tenaga, dan transformator arus.

Melalui koordinasi sistem proteksi, daerah yang terganggu dapat diisolasi dan dilokalisir, sehingga jumlah pemadaman pada konsumen dapat dikurangi. Dengan kata lain, koordinasi sistem proteksi memastikan bahwa relerele proteksi beroperasi secara terkoordinasi dan tepat waktu untuk melindungi sistem tenaga listrik dari gangguan dan meminimalisir dampak yang ditimbulkan pada konsumen[2].

*Fuse cut out* merupakan suatu perangkat perlindungan dalam sistem distribusi listrik yang berfungsi untuk melindungi dari arus berlebih dan hubung singkat. Sebagai salah satu peralatan proteksi dalam jaringan distribusi, perannya sangat vital sehingga kinerjanya harus optimal guna melindungi peralatan yang terhubung dalam jaringan distribusi maupun padatransformator distribusi. *Fuse cut out* juga memiliki kekurangan yaitu tidak cocok untuk kontrol jarak jauh dan operasi saklar ganda. Dengan demikian, pemilihan pengaman jenis ini perlu mempertimbangkan batasan daya yang tepat dan memperhatikan kecocokan dengan kebutuhan sistem pengamanan yang lebih kompleks. proteksi pada *fuse cut out* ini dipasang dalam bentuk *fuse link* (kawat bentuk sikring) yang dapat disesuaikan dengan arus nominal pada transformator yang terpasang.

mekanisme kerja *fuse cut out* adalah dengan melibatkan melebur bagian tertentu, biasanya berupa kawat lebur (*fuse link*). Prinsipnya, saat terjadi gangguan, *fuse cut out* secara otomatis akan memutuskan sirkuit dengan meleburnya *fuse link*. Dengan demikian, saat terjadi gangguan arus, *fuse link* akan melebur dan

menghentikan aliran listrik dalam sirkuit. fungsi *fuse link* adalah untuk melindungi jaringan dari lonjakan arus berlebih dan mengisolasi gangguan agar tidak merambat ke bagian jaringan yang lain.

Karena pentingnya peran *fuse cut out* dalam menjaga keandalan dan kinerja sistem distribusi listrik, maka diperlukan analisis kinerja untuk mengetahui kondisi *fuse cut out* apakah masih layak digunakan atau perlu diganti. Keandalan menjadi aspek yang krusial dalam pengoperasian sistem jaringan distribusi listrik. Gangguan yang sering terjadi pada jaringan distribusi memiliki potensi untuk mengganggu keandalan dalam penyediaan energi listrik. Berdasarkan kajian diatas maka penelitian ini akan melakukan analisa Penempatan recloser dan fuse cut out terhadap keandalan sitem tenaga listrik di jaringan distribusi.[3].

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah yang diambil pada analisis ini adalah:

1. Bagaimana Pengaruh Pemasangan *Recloser* Terhadap Keandalan Sistem Distribusi Listrik 20kV pada PT. PLN (Persero) ULP Deli Tua?
2. Bagaimana Penempatan Optimal *Recloser* Di Jaringan Distribusi 20kV di PT. PLN (Persero) ULP Deli Tua?
3. Seberapa Besar Estimasi Pengurangan Frekuensi Dan Durasi Gangguan Setelah Pemasangan *Recloser* di PT. PLN (Persero) ULP Deli Tua?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dilakukan penelitian tugas akhir tersebut sebagai berikut:

1. Menganalisis Pengaruh Pemasangan *Recloser* Terhadap Keandalan Sistem Distribusi Listrik 20kV pada PT. PLN (persero) ULP Deli Tua.
2. Menganalisis dan penempatan Optimal *Recloser* Di Jaringan Distribusi 20kV di PT. PLN (Persero) ULP Deli Tua.
3. Menganalisis Besar Estimasi Pengurangan Frekuensi Dan Durasi Gangguan Setelah Pemasangan *Recloser* di PT. PLN (Persero) ULP Deli Tua.

## **1.4 Ruang Lingkup Penelitian**

Pada penelitian ini, adapun ruang lingkup yang dihadapi adalah :

1. Penelitian ini akan berfokus pada kinerja *Recloser* pada jaringan distribusi
2. Penelitian ini akan menggunakan metode pengambilan datapengukuran dan memahami pengaruh Kinerja *Recloser* terhadap jaringan distribusi dengan

Microsoft Exel yang digunakan untuk menunjukkan data *real time*.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat penelitian ini yaitu :

1. Penelitian ini dapat membantu mengidentifikasi dan mengimplementasikan strategi yang efektif untuk memastikan kinerja *Recloser* dan *Fuse Cut Out* terhadap jaringan distribusi.
2. Mengurangi gangguan listrik serta dampaknya terhadap kontinuitas pelayanan listrik

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka Relevan**

Sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam kegiatan penyaluran energi listrik karena langsung terhubung dengan beban. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar sampai ke konsumen.

Dalam perkembangan teknologi informasi yang pesat di era globalisasi ini memberikan segala kemudahan bagi manusia untuk beraktivitas, namun untuk mengakses segala kemudahan tersebut di butuhkan pasokan energi listrik yang besar dan stabil. Ketergantungan kebutuhan energi listrik yang besar dan stabil ini cukup bisa diatasi oleh penyedia listrik saat ini, namun banyak sekali gangguan yang menyebabkan putusnya energi listrik tersebut, akibatnya adalah terhentinya akses teknologi dan informasi yang dapat merugikan pengguna dan penyedia teknologi dan informasi tersebut.[4].

Keandalan sistem distribusi tenaga listrik memiliki peran krusial dalam memastikan kenyamanan serta keamanan bagi pelanggan, baik dari kalangan perusahaan maupun rumah tangga. Untuk mengevaluasi tingkat keandalan peralatan distribusi listrik dalam memberikan layanan berkualitas kepada pelanggan, digunakan indeks keandalan sebagai metode pengukuran. Beberapa indeks yang umum digunakan meliputi SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*). Meskipun kajian terkait indeks keandalan SAIDI dan SAIFI telah banyak dilakukan oleh para peneliti, penelitian ini akan berfokus pada analisis indeks keandalan dalam penyediaan tenaga listrik.

Gardu distribusi akan terhubung ke sistem transmisi dan menurunkan tegangan yang dimana akan terjadi dari transmisi ke tegangan menengah antara 2kV dan 35 kV dengan menggunakan transformator. Kabel distribusi primer lalu

membawa listrik bertegangan menengah tersebut ke transformator distribusi yang terletak di dekat lokasi konsumen. Transformator distribusi kemudian menurunkan tegangan ke tegangan utilitas yang digunakan oleh lampu, peralatan industri, dan perabot rumah. Biasanya sejumlah konsumen dipasok oleh satu transformator melalui kabel distribusi sekunder. Konsumen komersial dan residensial biasanya terhubung ke kabel distribusi sekunder melalui sambungan listrik rumah. Konsumen yang membutuhkan listrik dalam jumlah yang lebih besar biasanya langsung terhubung ke kabel distribusi primer atau gardu listrik.[5].

Transisi dari transmisi ke distribusi terjadi di gardu listrik sebagai berikut:

- Pemutus daya dan saklar memungkinkan gardu untuk diputus dari sistem transmisi atau dari kabel distribusi.
- Transformator menurunkan tegangan transmisi, 35 kV atau lebih, ke tegangan distribusi primer, b<sup>5</sup> 600–35.000 V.
- Dari transformator, listrik menuju ke busbar yang dapat membagi listrik ke beberapa kabel distribusi.

## 2.2. Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar. pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat pelanggan merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ( $I^2 R$ ). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.[6].

Dua tipe jaringan distribusi sebagai berikut :

1. Distribusi Primer : Yaitu jaringan distribusi yang berasal dari Jaringan Transmisi yang di turunkan tegangannya di Gardu Induk menjadi tegangan menengah (TM) dengan nominal tegangan 20 kV (biasa disebut JTM atau Jaringan Tegangan Menengah) lalu disalurkan ke lokasi-lokasi pelanggan listrik kemudian di turunkan tegangannya di trafo pada Gardu Distribusi untuk di salurkan ke pelanggan.
2. Distribusi Sekunder : Yaitu jaringan distribusi dari Gardu Distribusi untuk di salurkan ke pelanggan dengan klasifikasi tegangan rendah yaitu 220 V atau 380 V (antar fasa). Pelanggan yang memakai tegangan rendah ini adalah pelanggan paling banyak karena daya yang dipakai tidak terlalu banyak. Jaringan dari gardu distribusi dikenal dengan JTR atau Jaringan Tegangan Rendah, lalu dari JTR dibagi-bagi untuk ke rumah pelanggan, saluran yang masuk dari JTR ke rumah pelanggan disebut SR. Pelanggan tegangan ini banyaknya menggunakan listrik satu fasa, walau ada beberapa memakai listrik tiga fasa.

Gangguan pada sistem distribusi adalah terganggunya sistem tenaga listrik yang menyebabkan bekerjanya rele pengaman penyulang untuk membuka circuit breaker di gardu induk yang menyebabkan terputusnya suplai tenaga listrik. Hal ini untuk mengamankan peralatan yang dilalui arus gangguan tersebut dari kerusakan. Sehingga fungsi dari peralatan pengaman adalah untuk mencegah kerusakan peralatan. Sumber gangguan pada jaringan distribusi dapat berasal dari dalam sistem maupun dari luar sistem.

Gangguan dari dalam sistem antara lain:

- a. Tegangan lebih atau arus lebih
- b. Pemasangan yang kurang tepat
- c. Usia peralatan atau komponen

Gangguan dari luar sistem antara lain:

- a. Dahan/ranting pohon yang mengenai SUTM
- b. Sambaran petir
- c. Cuaca ekstrim
- d. Kerusakan peralatan

- e. Gangguan binatang
- f. Gangguan papan reklame
- g. Gangguan pembangunan/renovasi gedung

Berdasarkan sifatnya, gangguan sistem distribusi dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Gangguan Temporer

Gangguan yang bersifat sementara karena dapat hilang dengan sendirinya dengan cara memutuskan bagian yang terganggu sesaat, kemudian menutup balik kembali, baik secara otomatis maupun secara manual oleh operator.

2. Gangguan Permanen

Gangguan bersifat tetap, sehingga untuk membebaskannya perlu tindakan perbaikan atau penghilangan penyebab gangguan.

### **2.3 Keandalan Sistem Tenaga Listrik**

Keandalan sistem distribusi merupakan tingkat keberhasilan kinerja sebuah sistem atau bagian dari sebuah sistem, untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada waktu dan kondisi tertentu. Untuk dapat menentukan tingkat keandalan dari sebuah sistem, perlu dilakukan kajian berupa perhitungan dan analisa terhadap tingkat keberhasilan pada sistem yang ditinjau pada periode tertentu, untuk kemudian dibandingkan dengan standar yang sudah ditetapkan sebelumnya. Keandalan tenaga listrik adalah menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik kepada pelanggan (terutama pelanggan daya besar). Apabila kontinuitas penyaluran energi listrik tersebut terputus atau terganggu, maka akan mengakibatkan kerugian di sisi pelanggan.[7].

Jaringan tegangan menengah mempunyai peranan yang sangat vital dalam menentukan tingkat keandalan penyaluran energi listrik. Karena jaringan yang baik dapat melokalisir gangguan yang terjadi dan segera mungkin dapat melakukan perpindahan penyaluran energi melalui jaringan lainnya.

Kontinuitas pelayanan merupakan salah satu unsur dari kualitas pelayanan, dan kesemuanya tergantung pada jenis dan tipe penyalur dan peralatan pengaman yang digunakan. Jaringan distribusi sebagai saran penyalur energi listrik mempunyai tingkat kontinuitas pelayanan berdasarkan jangka waktu

mengoperasikan kembali saluran setelah mengalami gangguan.[8].

Tingkatan-tingkatan tersebut antara lain:

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

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

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

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

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

#### **2.4. Pengertian Recloser**

*Recloser* merupakan salah satu alat dalam pengamanan sistem distribusi jaringan tegangan menengah 20 kV untuk menganalisa adanya gangguan yang bersifat sementara ataupun gangguan permanen. Recloser adalah perangkat dengan kemampuan untuk mendeteksi kondisi arus fasa dengan fasa dan fasa dengan bumi, untuk membuka sirkuit jika arus terus berlanjut setelah waktu yang telah ditentukan, dan kemudian secara otomatis *recloser* menutup kembali sirkuit pada saluran. Jika kesalahan yang berasal dari operasi masih ada, maka recloser akan tetap terbuka setelah sejumlah operasi yang telah ditentukan sebelumnya, sehingga mengisolasi bagian yang ada gangguan dari sistem lainnya.

#### **2.5. Pemadaman Listrik**

Definisi pemadaman listrik adalah saat terhentinya pasokan aliran listrik ke pelanggan. Secara umum listrik padam dapat disebabkan karena hal – hal sebagai berikut:

a. Pemadaman Terencana

Pemadaman terencana merupakan penghentian aliran listrik yang dilakukan sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan oleh PLN. Pemadaman ini bertujuan untuk mendukung berbagai kegiatan pemeliharaan dan pengembangan infrastruktur kelistrikan, seperti pemasangan peralatan jaringan baru, pemeliharaan preventif pada pembangkit, penggantian kabel konduktor transmisi 150 kV, serta perawatan jaringan dan gardu yang telah dijadwalkan sebelumnya. Langkah ini diambil guna memastikan keandalan sistem listrik tetap terjaga dan mencegah terjadinya kerusakan yang lebih serius di kemudian hari.

b. Pemadaman Tak Terencana (Gangguan)

Adapun pemadaman akibat terjadinya gangguan yang tidak direncanakan contohnya sebagai berikut:

- Terganggunya suatu unit pembangkit: gangguan pada sistem pelumasan, sistem pendingin, generator, ketel (boiler) pemanas air menjadi uap
- Terganggunya jaringan / transmisi listrik: Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV tersambar petir, terkena pohon roboh, tanah longsor, trafo meledak, dan lain – lain.

**2.5.1. SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)**

SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) adalah indeks durasi atau lama pemadaman rata – rata tiap tahun yang merupakan dari perkalian lama padam dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. Menginformasikan tentang lama pemadaman rata – rata tiap konsumen dalam suatu arus yang dievaluasi. Dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$\text{SAIDI} = \frac{\text{jumlah dari perkalian jam padam dan pelanggan padam}}{\text{jumlah total pelanggan yang terlayani}}$$

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum U_i n_i}{\sum N}$$

Dimana:

$U_i$  = durasi pemadaman atau gangguan

$n_i$  = jumlah pelanggan padam

$N$  = jumlah pelanggan yang terlayani

Faktor yang mempengaruhi Indeks Lama Pemadaman Rata – Rata (SAIDI) adalah sebagai berikut :

- a. Konfigurasi jaringan: *radial, ring, spindel*.
- b. Perlengkapan yang secara otomatis bekerja memulihkan gangguan sehingga kembali normal seperti: *Recloser, Automatic Sectionalizer, Circuit Breaker*.

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

SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) adalah indeks frekuensi pemadaman rata-rata tiap tahun yang merupakan jumlah dari perkalian frekuensi padam dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. Menginformasikan tentang frekuensi pemadaman rata-rata tiap konsumen dalam suatu area yang dievaluasi. Satuannya adalah pemadaman per pelanggan per tahun dan dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{SAIFI} = \frac{\text{jumlah dari pelanggan padam}}{\text{jumlah total pelanggan yang terlayani}}$$

$$\text{SAIFI} = \frac{\sum n_i}{\sum N}$$

Dimana:

$n_i$  = jumlah pelanggan padam

$N$  = jumlah pelanggan yang terlayani

Faktor yang mempengaruhi Indeks Frekuensi Pemadaman Rata – Rata:

- a. Pemeliharaan instalasi tenaga listrik (Pembangkitan, transmisi, dan distribusi).
- b. Mutu material yang terpasang.

## 2.6 Bentuk Konfigurasi Jaringan Distribusi

Sistem distribusi jaringan tegangan menengah memiliki beberapa jenis konfigurasi jaringan, dimana masing-masing konfigurasi jaringan mempunyai kelebihan dan kekurangan. Berdasarkan bentuk dan polanya, tipe sistem jaringan

distribusi primer dapat dibagi menjadi tiga, yaitu tipe *radial*, *loop* dan *spindel*. Jaringan Distribusi Tipe Radial Bentuk jaringan ini seperti pada Gambar 2.1 merupakan bentuk yang paling sederhana, banyak digunakan dan murah. Dinamakan *radial* karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang-cabangkan ke titik-titik beban yang dilayani.[9].

### 2.6.1 Jaringan Distribusi Tipe *Radial*

Bentuk jaringan ini seperti pada Gambar 2.1 merupakan bentuk yang paling sederhana, banyak digunakan dan murah. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara *radial* dari satu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang-cabangkan ke titik-titik beban yang dilayani.[6].

Catu daya berasal dari satu titik sumber dan karena adanya pencabangan-pencabangan tersebut, maka arus beban yang mengalir disepanjang saluran menjadi tidak sama sehingga luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak sama karena arus yang paling besar mengalir pada jaringan yang paling dekat dengan gardu induk. Sehingga saluran yang paling dekat dengan gardu induk ini ukuran penampangnya relatif besar dan saluran cabang-cabangnya makin keujung dengan arus beban yang lebih kecil mempunyai ukuran konduktornya lebih kecil pula. Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah :

1. Bentuknya sederhana.
2. Biaya investasinya murah.
3. Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
4. Kontinuitas pelayanan daya kurang terjamin sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan maka akan mengalami “*black out*” secara total.

Untuk melokalisir gangguan pada bentuk radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman, fungsinya untuk membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.[10].

### 2.6.2 Jaringan Distribusi Tipe Ring / Loop

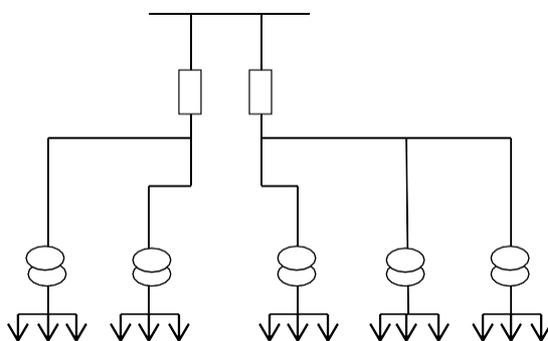
Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan ring. Susunan rangkaian saluran membentuk ring, seperti terlihat pada gambar di bawah yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena drop tegangan dan rugi daya saluran menjadi lebih kecil.

Bentuk sistem jaringan distribusi loop ini ada 2 macam yaitu :

1. Bentuk *open loop*, bila dilengkapi dengan *normally open switch* yang terletak pada salah satu bagian gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.
2. Bentuk *close loop*, bila dilengkapi dengan *normally close switch* yang terletak pada salah satu bagian diantara gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.

Struktur jaringan ini merupakan gabungan dari dua buah struktur jaringan radial, dimana pada ujung dari dua buah jaringan dipasang sebuah pemutus (PMT), pemisah (PMS). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan tidak terhenti. Pada umumnya penghantar dari struktur ini mempunyai struktur yang sama, ukuran konduktor tersebut dipilih sehingga dapat menyalurkan seluruh daya listrik beban struktur *loop*, yang merupakan jumlah daya listrik beban dari kedua struktur radial.

GI



Gambar 2.1 Konfigurasi jaringan Radial

Catu daya berasal dari satu titik sumber dan karena adanya pencabangan-pencabangan tersebut, maka arus beban yang mengalir disepanjang saluran menjadi tidak sama sehingga luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak sama karena arus yang paling besar mengalir pada jaringan yang paling dekat dengan gardu induk. Sehingga saluran yang paling dekat dengan gardu induk ini ukuran penampangnya relatif besar dan saluran cabang-cabangnya makin keujung dengan arus beban yang lebih kecil mempunyai ukuran konduktornya lebih kecil pula. Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah :

1. Bentuknya sederhana.
2. Biaya investasinya murah.
3. Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
4. Kontinuitas pelayanan daya kurang terjamin sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan maka akan mengalami “*black out*” secara total.

Untuk melokalisir gangguan pada bentuk radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman, fungsinya untuk membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.[11].

### 2.6.3 Jaringan Distribusi Tipe *Ring / Loop*

Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan ring. Susunan rangkaian saluran membentuk *ring*, seperti terlihat pada gambar di bawah yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena *drop* tegangan dan rugi daya saluran menjadi lebih kecil.

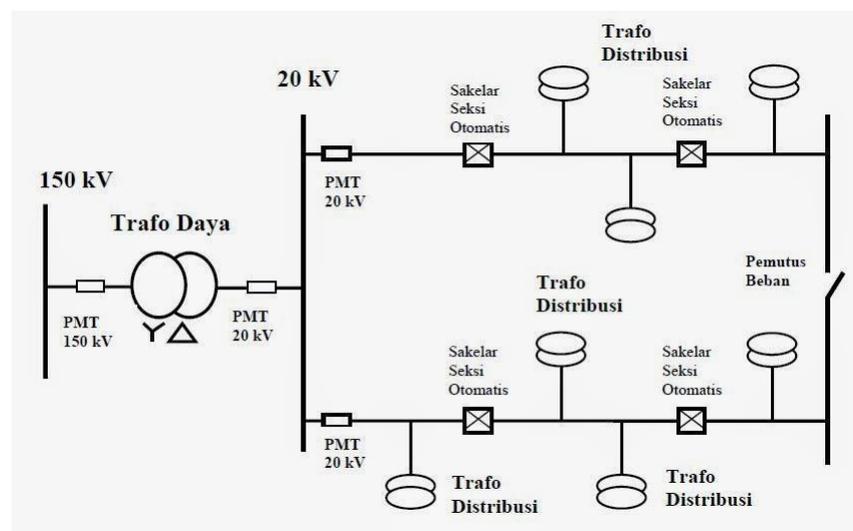
Bentuk sistem jaringan distribusi *loop* ini ada 2 macam yaitu :

1. Bentuk *open loop*, bila dilengkapi dengan *normallly open switch* yang terletak pada salah satu bagian gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.

2. Bentuk *close loop*, bila dilengkapi dengan *normally close switch* yang terletak pada salah satu bagian diantara gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.

Struktur jaringan ini merupakan gabungan dari dua buah struktur jaringan *radial*, dimana pada ujung dari dua buah jaringan dipasang sebuah pemutus (PMT), pemisah (PMS). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan tidak terhenti. Pada umumnya penghantar dari struktur ini mempunyai struktur yang sama, ukuran konduktor tersebut dipilih sehingga dapat menyalurkan seluruh daya listrik beban struktur *loop*, yang merupakan jumlah daya listrik beban dari kedua struktur *radial*.

Jaringan distribusi *loop* seperti pada Gambar 2.2 mempunyai kualitas dan kontinuitas pelayanan daya yang lebih baik, tetapi biaya investasi lebih mahal dan cocok digunakan pada daerah yang padat dan memerlukan keandalan tinggi.



Gambar 2.2 Konfigurasi jaringan *Loop*

#### 2.6.4 Jaringan Distribusi Tipe Spindel

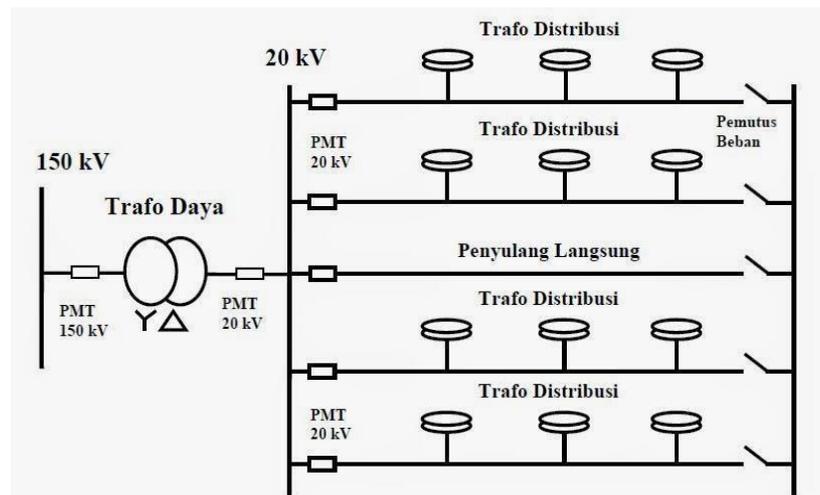
Jaringan distribusi *spindel* seperti pada Gambar 2.3 merupakan saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM) yang penerapannya sangat cocok di kota-kota besar.

Adapun operasi sistem jaringan sebagai berikut :

1. Dalam keadaan normal semua saluran digardu hubung (GH) terbuka sehingga semua SKTM beroperasi radial.
2. Dalam keadaan normal saluran *expres* tidak dibebani dan dihubungkan dengan rel di gardu hubung dan digunakan sebagai pemasok cadangan dari gardu hubung.
3. Bila salah satu seksi dari SKTM mengalami gangguan, maka saklar beban di kedua ujung seksi yang terganggu dibuka. Kemudian seksi – seksi sisi gardu induk (GI) mendapat suplai dari GI, dan seksi – seksi gardu hubung mendapat suplai dari gardu hubung melalui saluran ekspres.

Sistem jaringan distribusi spindel sangat cocok untuk memenuhi kebutuhan – kebutuhan antara lain :

- Peningkatan keandalan atau kontinuitas pelayanan sistem.
- Menurunkan atau menekan rugi – rugi akibat gangguan.
- Sangat baik untuk mensuplai daerah beban yang memiliki kerapatan beban yang cukup tinggi.
- Perluasan jaringan mudah dilakukan.

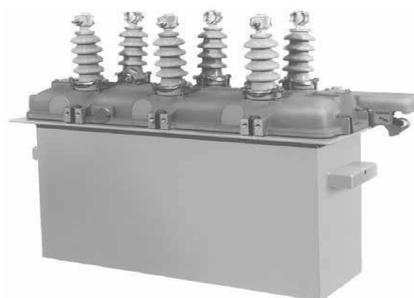


Gambar 2.3 Konfigurasi jaringan Spindel

## 2.7. Automatic Circuit Recloser (ACR)

Recloser adalah rangkaian listrik yang terdiri pemutus tenaga yang dilengkapi

kotak kontrol elektronik (Electronic Control Box) recloser, yaitu suatu peralatan elektronik sebagai kelengkapan recloser dimana peralatan ini tidak berhubungan dengan tegangan menengah dan pada peralatan ini recloser dapat dikendalikan cara pelepasannya. Dari dalam kotak kontrol inilah pengaturan (setting) recloser dapat ditentukan. Jenis atau tipe Recloser yang digunakan di PT.PLN (Persero) Rayon Rimoseperti pada Gambar 2.4 adalah tipe *Recloser VWVE* merk schneider dengan arus pengaturan pemutusan sebesar 200% sampai 500% dari arus setting kumpulan trip yang sebesar 100A.



Gambar 2.4 Recloser tipe VWVE

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

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

Recloser dibagi menjadi bagian-bagian yang terdiri dari:

1. pemutus

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 itu. Dengan demikian, pemutus vakum dengan penggerak magnetik memberikan kehandalan yang tinggi dalam beroperasi dan pemeliharaannya tidak sulit.

2. Penggerak magnetik

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.

3. Box isolasi

Kerangka isolasi yang terpasang di bagian atas pagar logam memiliki ketahanan terhadap cuaca, hidrofobik. 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.

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

Selama ada kesalahan pada sirkuit kontrol atau perbaikan pada jalur, operator dapat langsung mengoperasikan trip/ closing/ locking recloser dengan tuas trip/ closing/ locking yang dapat beroperasi secara manual yang beradapada sisi depan boxnya. 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 tuastrip / locking ke posisi trip untuk mengembalikan status lock dari recloser dan kemudian recloser dapat dioperasikan oleh kontrol lokal atau remote kembali.

#### 5. Saringan Molekul

Saringan molekul diatur untuk menyerap kelembaban 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 dan menghilangkan H<sub>2</sub>S. Saringan molekul dapat diregenerasikan dengan mengevakuasikan atau membersihkannya, biasanya pada temperatur yang tinggi mulai dari 200 °C sampai 300 °C. Namun, karena adanya recloser ini PT. PLN APD Disjata Disjata dapat mengurangi kecelakaan yang diakibatkn oleh arus hubung singkat dan juga kerusakan komponen yang terjadi jika arus hubung singkat tersebut melewati komponen-komponen yang rentan kerusakan. Maka dengan recloser ini arus hubung singkat ini dapat ditanggulangi dan sistem akan segera kembali normal.

#### 6. 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.

#### 7. Kubikel Kontrol

Kubikel kontrol recloser dirancang untuk dipasang di tiang outdoor dan gardu operasi yang terbuat dari stainless steel anti-korosi. Pintu dikunci dengan tiga posisi penguncian dirancang dan disegel dengan diganti kemasan busa urhetan. Semua ventilasi dapat menyaring hama yang akan masuk dan didalam kubikel sepenuhnya ditutupi dengan bahan faming adiabatik yang akan melindungi komponen yang didalam dari variasi suhu yang ada disekitar kubikel. Kubikel kontrol yang berada diluar 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. Kompartemen kontrol berbasis mikroprosesor benar-benar disegel terhadap masuknya air meskipun pintu dibukadalam kondisi hujan pada saat operasi ataupun pemeliharaan. Kondensasi di dalam kubikel dapat diharapkan untuk busa karena variasi suhu di bawah kondisi atmosfer seperti iklim tropis, namun kondensasi apapun tidak mempengaruhi komponen elektronik yang diatur sepenuhnya dengan terisolasi dan disegel baik dengan desain vented. Konsekuensinya, setiap kondensasi pada permukaan logam akan turun ke bawah dan secara otomatis mengering tanpa mempengaruhi modul elektronik dengan ventilasi dan pemanas yang ada. Standar kubikel kontrol yaitu berisi relay, baterai untuk daya cadangan dan dayapenggerak mekanisme. Kubikel kontrol tidak harus dipasang di luar ruangan tanpa penutup sinar matahari di tempat terkena sinar matahari.

#### 8. Suplai Tenaga Tambahan

- a. Dari sumber daya eksternal dari 110V dan 220V disediakan oleh trafo daya tambahan.
- b. Dari suplai tegangan rendah dihubungkan ke jalur distribusi.
- c. Selain di atas, lebih banyak menggunakan sumber dari DC 110V pasokan

dari sumber eksternal atau DC 135V baterai primer.

Sebenarnya, pasokan tambahan digunakan untuk mengoperasikan recloser otomatis melalui sirkuit rectifying dan dapat memelihara muatan pada baterai. Pengoperasian recloser terpenuhi jika pasokan daya tambahan yang melalui rangkaian dilanjutkan ke pengisian baterai. Baterai ini digunakan untuk memback-up operasi dari recloser bila catu daya tambahan hilang. Baterai ditempatkan di bagian bawah kubikel kontrol dan dapat diatur agar mudah diganti. Masa pakai baterai diperkirakan digunakan selama 5 tahun layanan seperti yang direkomendasikan oleh produsen baterai, tetapi masa hidupnya baterai dapat dilihat bagaimana dan seberapa sering baterai itu dipelihara. Baterai cukup untuk 30 jam dan lebih dari 50 event tanpa catu daya eksternal. Bila baterai hampir habis dan menunjukkan dibawah DC 15V ketika baterai diuji dengan beban, silahkan ganti baterai dengan yang baru seperti yang ditunjukkan dalam tabel spesifikasi baterai.

### **2.7.1 Single-shot Reclosing Relay**

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

### **2.7.2 Multi Shot Reclosing Relay**

Relai ini 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 (mengenergizing) Reclosing relay. Setelah dead time  $t_1$  yang sangat pendek (kurang dari 0,6 detik), relai memberi perintah reclose ke PMT. Jika gangguan masih ada, PMT akan trip kembali dan reclosing relai akan melakukan reclose yang kedua setelah dead time  $t_2$  yang cukup lama (antara 15- 60 detik). Jika gangguan masih ada, maka PMT akan trip kembali dan reclosing relai akan melakukan reclose yang ke tiga setelah dead time  $t_3$ .

Bila gangguannya juga masih ada dalam periode blocking tR, maka PMT akan trip dan lock out. Penggunaan multi shot reclosing harus disesuaikan dengan siklus kerja (duty cycle) dari PMT.

### 2.7.3 Jenis Rele Berdasarkan Pengamannya Berserta Settingannya

#### 1. Rele arus lebih seketika ( Momen Instantaneous)

##### a) Setelan Arus Pada Bagian Sekunder

$$I_{\text{instant sekunder}} = \frac{I_{\text{insta}}}{I_{\text{insta primer}}}$$

- Untuk setelan diisi dengan penyulang dengan arus maksimum :  
Trafo kapasitas 50 MVA maksimum  $2,4 \times I_n \text{ Trafo}$
- Untuk Setelan diisi masukan 20Kv di setelan sebesar :

$$I_{\text{Instan}} = 4 \times I_n \text{ Trafo}$$

$$I_n \text{ trafo} = \frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV_{L-L}}$$

##### b). Setelan Arus Pada Bagian Primer

Setelan arus pada bagian primer dirumuskan dengan:

$$I_{\text{instanprimer}} = I_{\text{instan sekunder}} \times I_{\text{set primer}}$$

- Rele Arus Lebih Tertentu ( definite time)

Rele ini akan memberikan perintah trip pada CB pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besar arus hubung singkat mencapai arus settingannya dan jangka waktu kerja rele mulai pick up sampai kerja rele diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus untuk mengerjakan rele ini bekerja.

- Rele Arus Lebih Berbanding Terbalik ( Invers) Arus Setelan (Setting)

Primer dirumuskan dengan:

$$I_p = 1,05 \times I_n$$

Arus Setelan (*Setting*) Sekunder dirumuskan dengan:

$$I_s = I_p \times \frac{1}{\text{RasioCT}} A$$

Penyetelan time multiple setting (TMS) rele arus lebih (OCR) jenis Invers sebagai berikut :

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{fault}}{I_s}\right)^{0,02-1}} \times TMS$$

$$TMS = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{fault}}{I_s}\right)^{0,02-1}} \times t$$

#### 2.7.4 Selang Waktu Penutup Balik Reclose

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

1. Arus yang mengalir normal bila tidak terjadi gangguan.
2. Ketika terjadi sebuah gangguan, arus yang mengalir melalui recloser membuka dengan operasi “fast”.
3. Kontak recloser akan menutup kembali setelah beberapa detik, sesuai setting yang ditentukan. Tujuan memberikan selang waktu adalah memberi kesempatan agar gangguan tersebut hilang dari sistem, terutama gangguan yang bersifat temporer.
4. Apabila yang terjadi adalah gangguan permanen, maka recloser akan membuka dan menutup balik sesuai setting yang ditentukan dan kemudian lock out.

Setelah gangguan permanen dibebaskan oleh petugas, baru dapat dikembalikan pada keadaan normal.

Ada bermacam-macam selang penutup kembali atau recloser interval dari recloser adalah sebagai berikut terjadi PT.PLN (Persero) :

1. Menutup kembali seketika atau instantaneous reclosing
2. Membuka kontak paling singkat, agar tidak mengganggu daerah- daerah beban yang terdiri dari motor industri, irigasi, dan daerah yang tidak boleh padam terlalu lama. Ini sering dikerjakan untuk reclosing pertama dari urutan reclosing. Kerugian dari penutup pertama adalah cukup waktu untuk

menghilangkan gangguan transient, seperti gangguan akibat cabang pohon yang mengenai penghantar, ionisasi gas dari bunga api yang timbul waktu gangguan dan belum hilang dalam waktu relatif singkat.

### 3. Waktu tunda (time delay) :

#### a) Menutup kembali 2 detik

Diharapkan dalam selang waktu ini telah cukup waktu untuk menghilangkan gangguan, transient dan menghilangkan ionisasi gas. Bila digunakan diantara fuse trip operational, maka waktu 2 detik ini cukup untuk mendinginkan di fuse beban.

#### b) Menutup kembali 5 detik.

Selang waktu ini sering digunakan diantara operasi penjatuh tunda dari recloser substation untuk memberikan kesempatan guna pendingin fuse disisi sumber, maka waktu 5 detik ini cukup untuk mendinginkan fuse disisi beban.

#### c) Waktu reclosing yang lebih lama (longer reclosing interval)

Yaitu selang 10 detik, 15 detik dan seterusnya, biasanya digunakan bila pengamanan cadangan terdiri dari breaker yang terkontrol rele. Ini memungkinkan timing disc pada rele lebih mempunyai cukup waktu untuk reset.

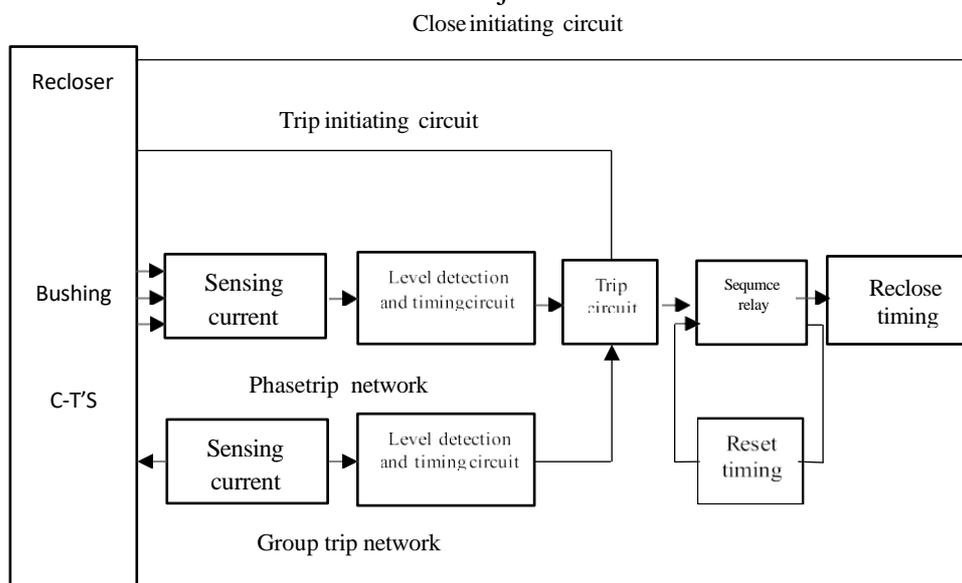
### **2.7.5 Prinsip Kerja Recloser**

Recloser hampir sama dengan circuit bracker, hanya recloser dapat diseting untuk bekerja membuka dan menutup kembali beberapa kali secara otomatis. Apabila feeder mendapat gangguan sementara, bila circuit bracker yang digunakan untuk feeder yang mendapat gangguan sementara, Recloser Sebagai pengamanan pada jaringan tegangan menengah 20 KV akan menyebabkan hubungan feeder terputus. Tetapi jika recloser yang digunakan diharapkan gangguan sementara tersebut membuat feeder terputus, maka recloser bekerja beberapa kali sampai akhirnya recloser membuka.

Perlengkapan elektronik ditempatkan pada sebuah kotak yang terpisah dari tangka recloser. dalam melakukan perubahan karakteristik, tingkat arus penjatuh minimum dan urutan operasi recloser dapat dilakukan dengan mudah tanpa mengeluarkan recloser. Arus pada saluran dideteksi oleh trafo arus yang dipasang pada bushing recloser, kemudian arus sekundernya dialirkan ke elektronik control

box. Setelah mencapai waktu tunda yang ditentukan oleh program karakteristik arus–waktu, maka rangkaian trip (penjatuh) mengirimkan sinyal untuk melepaskan kontak utama recloser. Rele urutan kerja akan direset timing pada posisi semula untuk mengatur penutupan kembali berikutnya. Apabila ternyata gangguan yang terjadi belum hilang, maka pada pembukaan yang terakhir sesuai urutan kerja recloser akan berada pada posisi lock out ( terkunci).

Berikut adalah Gambar Cara kerja Recloser :



Gambar 2.5 Diagram Blok Recloser

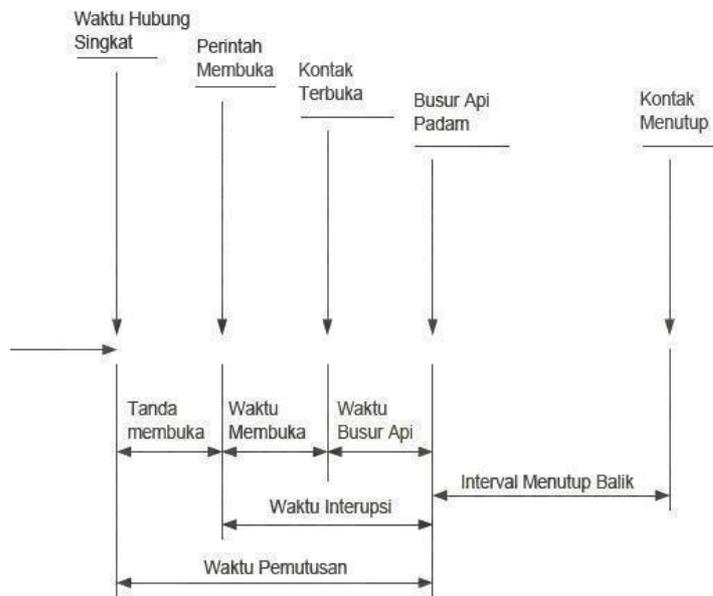
### 2.7.6 Cara Kerja Recloser

Waktu membuka dan menutup pada *recloser* dapat diatur pada kurva karakteristiknya. Secara garis besarnya adalah sebagai berikut :

1. Arus yang mengalir normal bila tidak terjadi gangguan.
2. Ketika terjadi sebuah gangguan, arus yang mengalir melalui *recloser* membuka dengan operasi “*fast*”.
3. Kontak *recloser* akan menutup kembali setelah beberapa detik, sesuai setting yang ditentukan. Tujuan memberikan selang waktu adalah memberi kesempatan agar gangguan tersebut hilang dari sistem, terutama gangguan yang bersifat temporer.
4. Apabila yang terjadi adalah gangguan permanen, maka *recloser* akan

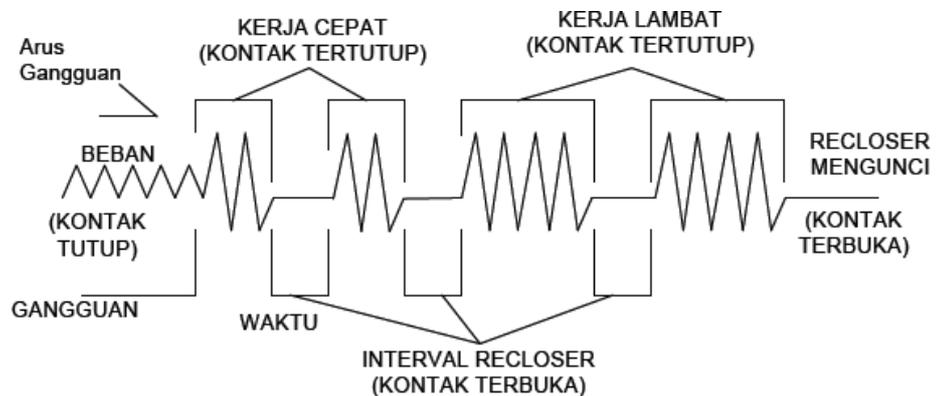
membuka dan menutup balik sesuai setting yang ditentukan dan kemudian *lock out*. Setelah gangguan permanen dibebaskan oleh petugas, baru dapat dikembalikan pada keadaan normal.

Proses operasi kerja recloser dari saat mulai terjadinya arus hubung singkat sampai terjadi pembukaan kontak pemutus dayanya hingga menutup kembali kontak pemutus daya tersebut, dapat di lihat seperti Gambar 2.5



Gambar 2.6 Proses Kerja Dari Auto Recloser

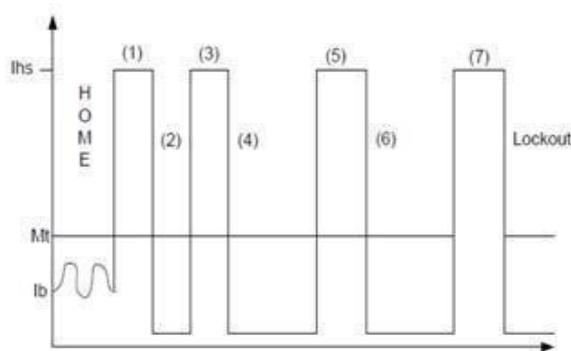
Sementara bentuk aturan kerja recloser dari saat mulai terjadi arus gangguan, sampai terjadi proses buka tutup untuk beberapa kali dan akhirnya melakukan penguncian dapat dilihat seperti gambar 2.7 berikut :



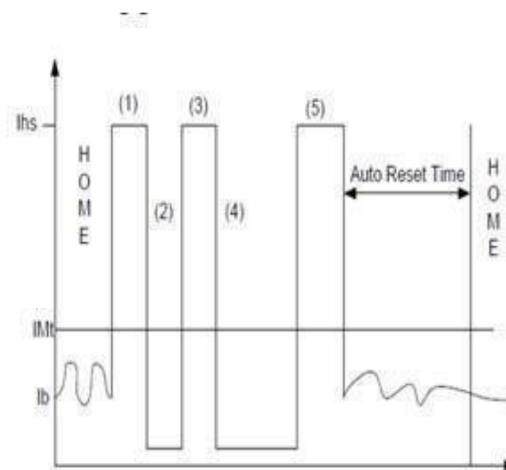
Gambar 2.7 Bentuk buka tutup hingga terkunci dari recloser

Pemakai recloser pada sistim distribusi tergantung pada peralatan- peralatan listrik dari sistem distribusi, dan koordinasinya dengan peralatan proteksi arus hubung singkat atau arus lebih yang lainnya. Recloser juga merupakan perlengkapan proteksi untuk meningkatkan keandalan saluran udara, baik pada saluran udara tegangan tinggi ( SUTT ) maupun pada saluran udara tegangan menengah ( SUTM ). Dalam penulisan ini hanya pada STUM yang dibicarakan. Telah diketahui bahwa jenis gangguan (STUM ) terdiri gangguan sementara dan gangguan menetap.

Gangguan sementara antara lain disebabkan oleh terjadinya arus susulan pada isolator akibat petir, pengotoran ( kontaminasi ) dari isolator, binatang yang melintas saluran, dahan / ranting yang menyentuh saluran yang lainnya. Gangguan menetap antara lain disebabkan karna putusnya hantaran, pecahnya isolator dan lain sebagainya. Pada gangguan sementara, sesaat sesudah rele pemutus membuka dan gangguan telah hilang, maka alat pemutus dapat masuk kembali, sedangkan pada gangguan menetap sesudah alat pemutus merasakangguan dan membuka, maka alat pemutus tidak dapat masuk kembali sebelum gangguan diatasi.



Gambar 2.8 Urutan Operasi Reloser Gangguan Permanen



Gambar 2.9 Urutan Operasi Recloser Gangguan sementara

Keterangan untuk gambar 2.7 dan 2.8 :

$I_b$  : Arus beban normal

$I_{Mt}$  : Arus trip minimum

$I_{hs}$  : Arus hubung singkat

1. : waktu trip pertama (TCC)

2. interval waktu reclose pertama

3. waktu trip cepat kedua

4. interval waktu reclose waktu kedua

5. interval waktu reclose waktu kedua

6. interval waktu reclose waktu ketiga

7. waktu trip lambat kedua

### 2.7.7 Operasi Kontrol

Pengindraan trafo arus berfungsi untuk melengkapi level informasi arus AC dasar dari masing-masing fasa yang sinyalnya disampaikan ke rangkaian kontrol. Sinyal-sinyal itu masing-masing sesuai dengan suatu perbandingan tertentu terhadap arus line pada masing-masing fasa.

Waktu dan arus mendeteksi dan pewaktu berhubungan dengan kesalahan fasa sesuai dengan karakteristik arus/waktu yang ditentukan. Setelah waktu pewaktu, sinyal akan kuat dan akan mengaktifkan SCR yang di hubungkan ke batrai kontrol

sebesar 24 volt, SCR ini kemudian akan mengenergi selenoida tripping Recloser. Gerakan selenoida tripping yang melepaskan pegas trip akan membuka kontak Recloser.

## **2.8 Fuse Cut Out (FCO)**

*Fuse cut out* atau biasa disingkat FCO adalah peralatan proteksi yang bekerja apabila terjadi gangguan arus lebih. Alat ini akan memutuskan rangkaian listrik yang satu dengan yang lain apabila dilewati arus yang melewati kapasitas kerjanya. Prinsip kerjanya adalah ketika terjadi gangguan arus maka fuse pada cut out akan putus, seperti yang ada pada SPLN 64 tabung ini akan lepas dari pegangan atas, dan menggantung di udara, sehingga tidak ada arus yang mengalir ke sistem. Adapun cara perlindungannya adalah dengan melelehkan fuse link, sehingga dapat memisahkan antara bagian yang sehat dan yang terganggu. Sedangkan fuse link itu sendiri adalah elemen inti dari FCO yang terletak di dalam fuse holder dan mempunyai titik lebur tertentu. Jika beban jaringan sesudah FCO menyentuh titik lebur tersebut, maka fuse link akan meleleh dan akan memisahkan jaringan sebelum FCO dengan jaringan sesudah FCO. Cut out biasanya digunakan pada jaringan distribusi 20 kV untuk proteksi trafo distribusi dari arus lebih. Namun ada kelemahan dari pengaman jenis ini, yaitu penggunaannya terbatas padapenyaluran daya yang kecil, serta tidak dilengkapi dengan alat peredam busur api yang timbul pada saat terjadi gangguan hubung singkat.

### **2.8.1 Pemilihan Fuse Cut Out**

Pemilihan fuse cut out sebagai pengaman beban lebih ini haruslah secara cermat. Adapun dalam pemilihan tersebut, hal yang perlu dilakukan adalah menggunakan metode-metode pemilihan seperti perbandingan jenis, bentuk, serta karakteristik fuse cut out. Sedangkan untuk menentukan nilai yang akan digunakan adalah dengan menghitung batas-batas ketahanan pelebur terhadap gangguan yang akan terjadi.

Hasil pemilihan fuse cut out sebagai pengaman beban lebih tersebut terbagi menjadi 4 tahapan. Yang pertama adalah membandingkan jenis *fuse cut out* berdasarkan prinsip kerja dan di hasilkan *fuse cut out* tipe ekspulsi. Tahapan yang

kedua adalah membandingkan *fuse cut out* berdasarkan bentuk fisiknya dan didapatkan *fuse cut out* tipe open (terbuka).

Untuk tahapan yang ketiga yaitu memilih fuse cut out dengan membandingkan berdasarkan tipe kelasnya dan didapatkan hasil berupa fuse cut out dengan tipe kelas 2 (tipe jatuh). Setelah melakukan perbandingan-perbandingan tersebut maka dihasilkan pemilihan fuse cut out berupa fuse cut out tipe ekspulsi (letupan) kelas 2 (tipe jatuh) bentuk open (terbuka). Sedangkan untuk penentuan arus pengenalnya dilakukan dengan menghitung batas ketahanan fuse cut out tersebut. Dan berdasarkan perhitungan yang disesuaikan dengan table, maka didapat fuse cut out tipe K 6,3 A sebagai pengaman beban lebih pada trafo 20 kV.

### **2.8.2 Prinsip kerja Fuse Cut Out**

Pada sistem distribusi fuse cut out yang digunakan mempunyai prinsip kerja melebur, apabila dilewati oleh arus yang melebihi batas arus nominalnya. Biasanya Fuse Cut Out dipasang setelah PTS maupun LBS untuk memproteksi feeder dari gangguan hubung singkat dan dipasang seri dengan jaringan yang dilindunginya, Fuse Cut Out juga sering ditemukan pada setiap transformator. Penggunaan fuse cut out ini merupakan bagian yang terlemah di dalam jaringan distribusi. Karena fuse cut out boleh dikatakan hanya berupa sehelai kawat yang memiliki penampang disesuaikan dengan besarnya arus maksimum yang diperkenankan mengalir di dalam kawat tersebut.

Pemilihan kawat yang digunakan pada fuse cut out ini didasarkan pada faktor lumer yang rendah dan harus memiliki daya hantar (conductivity) yang tinggi. Faktor lumer ini ditentukan oleh temperatur bahan tersebut. Biasanya bahan-bahan yang digunakan untuk fuse cut out ini adalah kawat perak, kawat tembaga, kawat seng, kawat timbel atau kawat paduan dari bahan – bahan tersebut. Pada umumnya diantara kawat diatas, yang sering digunakan adalah kawat logam perak, hal ini karena logam perak memiliki Resistansi Spesifik ( $\mu\Omega/\text{cm}$ ) yang paling rendah dan Titik Lebur ( $^{\circ}\text{C}$ ) yang rendah. Kawat ini dipasangkan di dalam tabung porselin yang diisi dengan pasir putih sebagai pemadam busur api, dan menghubungkan

kawat tersebut pada kawat fasa, sehingga arus mengalir melaluinya.

Prinsip kerjanya adalah ketika terjadi gangguan arus maka fuse pada cut out akan putus, seperti yang ada pada SPLN 64 tabung ini akan lepas dari pegangan atas, dan menggantung di udara, sehingga tidak ada arus yang mengalir ke sistem. Hubungan antara arus dengan waktu meleburnya elemen FCO disebut karakteristik arus waktu. Meleburnya elemen FCO disebabkan oleh arus yang mengalir pada elemen fuse tersebut. Kecepatan meleburnya elemen FCO tergantung pada besarnya arus yang mengalir pada elemen itu.

FCO digunakan sebagai pengamanan jaringan dari gangguan hubung singkat antar fasa dan hubung singkat antara fasa ke tanah. Pada sistem jaringan distribusi FCO dipasang untuk mengamankan komponen atau peralatan listrik lainnya seperti, transformator distribusi, kapasitor jaringan tegangan menengah, pengatur tegangan menengah dan titik percabangan jaringan tegangan menengah.

### **2.8.3 Cara kerja Fuse Cut Out**

Jika arus beban lebih melampaui batas yang diperkenankan, maka kawat perak di dalam tabung porselin akan putus dan arus yang membahayakan dapat dihentikan. Pada waktu kawat putus terjadi busur api, yang segera dipadamkan oleh pasir yang berada di dalam tabung porselin. Karena udara yang berada di dalam porselin itu kecil maka kemungkinan timbulnya ledakan akan berkurang karena diredam oleh pasir putih. Panas yang ditimbulkan sebagian besar akan diserap oleh pasir putih tersebut. Apabila kawat perak menjadi lumer karena tenaga arus yang melebihi maksimum, maka waktu itu kawat akan hancur. Karena adanya gaya hantakan, maka tabung porselin akan terlempar keluar dari kontakannya. Dengan terlepasnya tabung porselin ini yang berfungsi sebagai saklar pemisah, maka terhidarlah peralatan jaringan distribusi dari gangguan arus beban lebih atau arus hubung singkat.

Umur dari fuse cut out ini tergantung pada arus yang melaluinya. Bila arus yang melalui fuse cut out tersebut melebihi batas maksimum, maka umur fuse cut out lebih pendek. Oleh karena itu pemasangan fuse cut out pada jaringan distribusi hendaknya yang memiliki kemampuan lebih besar dari kualitas

tegangan jaringan, lebih kurang tiga sampai lima kali arus nominal yang diperkenankan. Fuse cut out ini biasanya ditempatkan sebagai pengaman transformator distribusi, dan pengaman pada cabang – cabang saluran feeder yang menuju ke jaringan distribusi sekunder.

## **2.9 Sistem Koordinasi Recloser dan Fuse Cut Out**

Sistem distribusi tenaga listrik berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Sistem ini mempunyai peran yang penting bagi kehidupan manusia. Saat ini penggunaan energi listrik semakin meningkat baik dari konsumen perumahan atau industri. Dalam penyaluran energi listrik seringkali terjadi gangguan hubung singkat pada sistem distribusi yang dapat bersifat permanen atau temporer. Sebagian besar hubung singkat yang terjadi yaitu hubung singkat 1 fasa tanah yang sifatnya temporer (sementara), oleh karena itu dibutuhkan sistem yang memiliki keandalan yang tinggi.

Keandalan sistem diperlukan untuk mengamankan peralatan dari gangguan, mengurangi daerah gangguan dan meningkatkan kontinuitas penyaluran energi listrik. Keandalan sistem dapat dilihat dari koordinasi sistem proteksi yang bekerja dengan baik pada jaringan distribusi. Proteksi ini dapat mencakup recloser dan fuse cut out. Koordinasi proteksi yang dimaksud yaitu bagaimana koordinasi dari recloser dan fuse cut out dengan skema fuse saving yang bertujuan untuk mencegah kerusakan fuse ketika terjadi gangguan yang bersifat temporer.

Dalam jaringan distribusi, khususnya saluran udara sering digunakan recloser dan fuse cut out bersama-sama untuk keperluan pengamanan. Recloser digerakan oleh relai dengan karakteristik tertentu, sedangkan fuse mempunyai karakteristik sendiri. Oleh karenanya perlu koordinasi antarakedua alat ini. Apabila terjadi gangguan pada saluran cabang, recloser pada saluran utama harus segera trip dan jangan sampai di dahului oleh putusnya fuse yang ada di saluran cabang.

Setelah recloser trip, kemudian ada dead time dengan harapan agar selama waktu mati ini penyebab gangguan sudah hilang dan recloser masuk kembali sehingga keadaan menjadi normal kembali. Hal ini terasa sebagai gangguan

temporer. Tetapi apabila gangguan yang terjadi adalah gangguan permanen dan terjadi di saluran cabang di belakang fuse, maka setelah dead time diatas habis dan recloser masuk kembali, diharapkan kali ini fuse bekerja terlebih dahulu mendahului recloser trip kembali

Maka pada waktu recloser menutup kembali setelah trip yang pertama kali, fusetelah melebur terlebih dahulu sehingga gangguan permanen yang terjadi di saluran cabang tidak menyebabkan recloser trip kembali. Dengan demikian yang padam hanya saluran cabang yang mengalami gangguan.

Proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik suatu sistem tenaga listrik, misalnya pada generator, transformator, jaringan dan lain-lain terhadap kondisi abnormal operasi saluran itu sendiri.

Koordinasi adalah cara untuk menentukan urutan kerja rele pada masing-masing lokasi gangguan tanpa adanya waktu tunda yang terlalu lama. Koordinasi pada intinya adalah memilih dan menentukan setting waktu untuk daerah proteksi terhadap gangguan sementara pada penyulang bila terjadi pelimpahan beban. Koordinasi sistem proteksi dapat melokalisasi dan mengisolasi daerah yang terganggu sehingga dapat mengurangi jumlah pemadaman pada konsumen. Pada kondisi tidak normal antara lain disebabkan oleh : hubung singkat, tegangan lebih/kurang, beban lebih, frekuensi naik/turun dan lain sebagainya. Gangguan yang biasa terjadi adalah gangguan hubung singkat yang disebabkan oleh arus hubung singkat yang jauh lebih besar dari arus pengenal peralatan, sehingga dapat merusak peralatan. Oleh karena itu peralatan yang digunakan untuk mengamankan adalah rele arus lebih dan rele gangguan tanah yang akan menginstruksikan pemutus tenaga untuk membuka bila terjadi gangguan. Rele merupakan salah satu dari perangkat proteksi pada sistem tenaga listrik, Jika terjadi gangguan maka rele akan merasakan gangguan tersebut dan akan segera melakukan pemutusan atau penutupan pelayanan penyaluran tenaga listrik. sehingga peralatan dapat dilindungi dan mengurangi dari kerusakan.

## **2.10 Gangguan Hubung Singkat**

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi dalam jaringan (sistem kelistrikan), yaitu:

1. Gangguan hubung singkat tiga fasa
2. Gangguan hubung singkat dua fasa
3. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Semua gangguan yang ada diatas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus dasar, yaitu :  $I = \frac{V}{Z}$ .

Sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat, maka terlebih dahulu harus memulainya dari perhitungan pada rel daya tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titiktitik lainnya yang letaknya semakin jauh dari gardu induk tersebut. Untuk itu diperlukan perhitungan dari impedansi sumber, impedansi transformator, dan impedansi penyulang.

a. Impedansi sumber

Untuk mengkonversi  $X_s$  dari 150 kV menjadi 20 Kv menggunakan rumus :

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA}$$

Untuk mengkonversi  $X_s$  dari 150 kV menjadi 20 kV menggunakan rumus :

$$X_s (\text{Sisi } 20\text{kV}) = \frac{20^2}{150^2} \times X_s (\text{Sisi } 150\text{kV})$$

Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat terbagi atas 3 :

1. Tiga Fasa

$$I_{3 \text{ fasa}} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}}$$

2. Dua Fasa

$$I_{2 \text{ fasa}} = \frac{V_{ph} - ph}{2 \times Z_{1eq}}$$

3. Satu Fasa

$$I_{1 \text{ fasa}} = \frac{3 \times V_{ph}}{2 \times Z_{1eq} + Z_{0eq}}$$

b.

Impedansi transformator

$$X_t (\text{Pada } 100\%) = \frac{kV^2}{MVA}$$

Untuk menghitung reaktansi urutan positif dan negatif ( $X_{t1} = X_{t2}$ ) dihitung

dengan menggunakan rumus :

$X_t = \% \text{ yang diketahui } x_t \text{ } X_t \text{ pada } 100\%$

### C. Impedansi penyulang

Urutan positif dan urutan negative menggunakan rumus:  $Z_1 = Z_2 = \% \text{ panjang } x \text{ panjang penyulang (km) } x Z_1 / Z_2 \text{ (ohm)}$ .

Untuk urutan nol dapat dihitung :  $Z_0 = \% \text{ panjang } x \text{ panjang penyulang (km) } x Z_0 \text{ (ohm)}$ . [25].

Untuk menghitung ekivalen jaringan menggunakan rumus :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_1 \text{ penyulang}$$

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3R_N + Z_0 \text{ penyulang}$$

Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat terbagi atas 3, yaitu :

1. Tiga Fasa

$$I_{3 \text{ fasa}} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}}$$

2. Dua Fasa

$$I_{2 \text{ fasa}} = \frac{V_{ph} - ph}{2 x Z_{1eq}}$$

3. Satu Fasa

$$I_{1 \text{ fasa}} = \frac{3 x V_{ph}}{2 x Z_{1eq} + Z_{0eq}}$$

Gangguan hubung singkat terjadi akibat faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal dari gangguan adalah rusaknya peralatan listrik. Sedangkan faktor eksternal adalah cuaca buruk, badai, hujan, bencana, runtuhnya pohon, petir, dan lain-lain. Selain faktor internal dan faktor eksternal gangguan terdiri dari gangguan temporer atau permanent. Gangguan temporer bisanya diamankan dengan CB (Circuit Breaker) atau pengaman lainnya, Sedangkan gangguan permanent adalah gangguan yang menyebabkan kerusakan permanent pada sistem. Seperti kegagalan isolator, kerusakan penghantar, dan kerusakan pada peralatan. Pada gangguan permanen sering terjadi pada saluran bawah tanah.

Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Gangguan hubung singkat dapat menyebabkan aliran arus menjadi besar, besarnya arus listrik yang mengalir dapat merusak peralatan listrik jika tidak dilengkapi dengan sistem proteksi yang tepat. Besar kecil aliran arus hubung singkat dipengaruhi oleh letak terjadinya gangguan. Jika gangguan semakin dekat dengan sumber, maka arus gangguan akan semakin besar begitu sebaliknya (Amira, 2014). Perluasan sistem tenaga listrik perlu dianalisa kembali untuk mengetahui rating peralatan pemutus tegangan, misalnya Circuit Breaker (CB). Supaya Circuit Breaker (CB) dapat mengamankan dari gangguan sistem tenaga listrik. Gangguan hubung singkat terdiri dari gangguan simetris dan hubung singkat tidak simetris. Perhitungan arus gangguan hubung singkat simetris dan tidak simetris dapat dilakukan dengan alat bantu perhitungan, yaitu komputer digital dengan bantuan software Matlab.

Cara mengatasi gangguan hubung singkat, perlu dilakukan analisis gangguan hubung singkat untuk mengetahui besar arus hubung singkat yang akan terjadi. Sehingga sistem proteksi yang tepat pada sistem tenaga listrik dapat ditentukan. Analisis gangguan hubung singkat adalah analisis yang mempelajari kontribusi arus gangguan hubung singkat yang mungkin mengalir pada setiap cabang didalam sistem sewaktu gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam sistem tenaga listrik. Analisis gangguan hubung singkat merupakan suatu hal yang penting untuk menentukan rating arus hubung singkat, guna untuk melindungi perangkat dan peralatan sistem distribusi dari efek yang ditimbulkan beban. Hal ini dapat diketahui dengan menggunakan metode analisis hubung singkat seimbang dan tidak seimbang (Mathur, 2015). Gangguan tanah dapat berakibat fatal pada sistem tenaga listrik, jika tidak memperhatikan sistem pengamannya. Gangguan tanah terjadi karena adanya tegangan induksi kumparan- kumparan transformator terhadap struktur logam disekitarnya. Gangguan sistem isolasi (breakdown isolation) dapat menyebabkan kebocoran arus sehingga dapat menyebabkan hubung singkat. Kesalahan tidak simetri sering terjadi pada jalur jaringan yang dapat menyebabkan gangguan signifikan kekuasaan pasokan sistem jika tidak terdeteksi dan terisolasi di dekat real time. Real time mendeteksi

kesalahan yang diperlukan sistem proteksi untuk mengisolasi garis rusak sebelum masalah stabilitas utama timbul ( Saha 2012 ). Komponen simetris dapat digunakan untuk mensimulasikan operasi simetris dan tidak simetris dari sistem tenaga listrik. Penelitian ini memberikan bukti bahwa rangkaian ekuivalen baru yang dikembangkan dapat menggantikan rangkaian ekuivalen dengan menggunakan perhitungan untuk hubung singkat satu fasa ke tanah dan hubung singkat dua fasa ke tanah.

Gangguan hubung singkat merupakan suatu kondisi pada sistem tenaga dimana penghantar yang berarus terhubung dengan penghantar lain atau dengan tanah. Gangguan hubung singkat dapat menimbulkan arus yang jauh lebih besar dari arus kondisi dimana sistem tenaga listrik dalam keadaan normal. Bila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung dengan lama pada suatu sistem daya listrik, maka akan berpengaruh yang tidak diinginkan yang dapat terjadi.

- a. Berkurangnya batas-batas kestabilan untuk sistem daya suatu sistem tenaga listrik
- b. Rusaknya perlengkapan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus tak seimbang, atau tegangan rendah yang ditimbulkan oleh hubung singkat
- c. Ledakan-ledakan yang mungkin akan terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi sewaktu terjadi hubung singkat, dan yang mungkin menimbulkan kebakaran sehingga dapat membahayakan orang yang menangani dan merusak peralatan-peralatan yang lain.
- d. Terpecahnya keseluruhan daerah pelayanan sistem daya tenaga listrik karena suatu rentetan tindakan pengamanan yang diambil oleh sistem pengamanan yang berbeda-beda, kejadian ini dikenal sebagai cascading

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk studi hubung singkat antara lain, metode matriks impedansi bus, metode matriks admitansi bus (kedua metode ini menggunakan teori komponen simetris) dan metode koordinat phase. Untuk gangguan tiga phase seimbang cenderung disederhanakan dengan pendekatan per phase. Diagram satu garis sederhana untuk menyelesaikan masalah gangguan tiga phase seimbang dengan metode komponen simetris adalah untuk memecahkan

penyelesaian rangkaian tidak seimbang ke dalam sebuah rangkaian yang seimbang. Prinsip dasar komponen simetris adalah, suatu kumpulan tiga hubungan vektor yang tidak seimbang, yang dapat diuraikan menjadi tiga set vektor yang seimbang. Ketiga set vektor yang seimbang itu biasa disebut dengan komponen urutan positif, komponen urutan negatif, dan komponen urutan nol

### **2.11. Gangguan Hubung Tanah**

Gangguan tanah adalah terhubungnya konduktor fasa dengan beban atau tempat yang terhubung dengan tanah sehingga beban atau tempat tersebut bertegangan dan mengalirkan arus ketanah. Gangguan ini merupakan gangguan terbesar dari semua jenis gangguan sistem daya listrik. Karena itu pengamanan terhadap gangguan tanah ini merupakan suatu hal yang terpenting.

Relay gangguan tanah (Ground Fault Relay) adalah pengamanan terhadap gangguan tanah. Relay ini berfungsi untuk memproteksi SUTM terhadap gangguan antara fasa atau 3 fasa dan hanya bekerja pada satu arah saja. Karena rele ini dapat membedakan arah arus gangguan. Arus atau tegangan urutan nol (residu) merupakan penggerak relay ini. Sistem daya listrik pada umumnya titik netralnya ditanahkan, baik pentanahan langsung (Solid Grounded) maupun melalui impedansi, karena itu arus residu merupakan penggerak utama relay gangguan tanah. Tegangan residu dipergunakan biasanya pada sistem yang tidak ditanahkan. Relay gangguan tanah terarah (Directional Ground Fault Relay) mempergunakan arus dan tegangan residu.

Penggunaan Saluran Kabel bawah tanah Tegangan Menengah (SKTM) sebagai jaringan utama pendistribusian tenaga listrik dengan upaya peningkatan kualitas pendistribusian. Dibandingkan dengan SUTM, penggunaan SKTM akan memperkecil resiko kegagalan operasi akibat faktor eksternal meningkatkan keamanan ketenagalistrikan. Secara garis besar, termasuk dalam kelompok SKTM yaitu SKTM bawah tanah dan SKTM Laut.

Selain lebih aman, namun penggunaan SKTM lebih mahal untuk penyaluran daya yang sama, sebagai akibat konstruksi isolasi penuh penghantar per Fase dan pelindung mekanis yang dipersyaratkan sesuai keamanan ketenagalistrikan.

Pada metode penyaluran listrik menggunakan SKTM, biasanya gangguan yang terjadi bersifat permanen, dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan atau menyingkirkan gangguan tersebut, sehingga gangguan ini menyebabkan pemutusan tertutup. Penyebab gangguan dari dalam antara lain adalah:

- Tegangan lebih dan arus tak normal (termasuk didalamnya gangguan hubung singkat
- Pemasangan tidak baik
- Penuaan
- Beban lebih
- Kegagalan kerja peralatan pengaman

Salah satu gangguan yang diakibatkan dengan bertumbuhnya beban konsumen yaitu gangguan arus lebih yang disebabkan kelebihan beban atau biasa disebut overload pada inter bus transformator ataupun penghantar. Beban lebih yang terjadi dalam sebuah jaringan harus diselesaikan dengan melakukan penyeimbangan aliran beban dan diperlukan peningkatan stabilitas transien. Sistem tenaga listrik harus memiliki peralatan dan proteksi yang handal untuk memenuhi standar. Pada jaringan transmisi ataupun distribusi ketika terjadi beban berlebih maka biaya yang dikeluarkan untuk memperbaiki akan semakin mahal. Kelebihan beban pada saluran transmisi dapat merusak keamanan sistem dan memperlambat proses pemulihan pemadaman. Dalam melakukan analisa gangguan beban lebih pada transmisi diperlukan melakukan analisis kontigensi aliran daya. Upaya dalam mengurangi resiko pemadaman akibat gangguan pada suatu peralatan listrik, mencegah gangguan meluas perlu adanya load shedding. Overload shedding bertujuan untuk mengantisipasi terjadinya pemadaman yang meluas dengan cara melakukan pelepasan beban sesuai yang telah ditentukan. Load shedding atau pelepasan beban adalah tindakan sistem darurat untuk menjaga stabilitas frekuensi dari sistem tenaga listrik. Pada saat melakukan load shedding diperlukan pelepasan beban yang efisien untuk melepaskan beban yang optimal dan menjaga stabilitas sistem tenaga. Skema pelepasan beban biasanya digunakan sebagai mekanisme

untuk menstabilkan besarnya frekuensi dan tegangan dengan melepaskan sebagian beban untuk memastikan keseimbangan yang memadai antara pembangkitan dan beban. Beban lebih berpotensi akan mempengaruhi masa pakai transformator. Pelepasan beban merupakan suatu skema yang dapat menjaga stabilitas sistem. Penentuan lokasi pelepasan beban yang optimal maka dapat meminimalkan biaya kerugian yang terjadi. Gardu induk perlu mengoptimalkan kapasitas dan jumlah transformator untuk mendapatkan keadaan sistem yang handal. Padagardu induk 150kV Sukolilo pelepasan beban dengan cara Overload Shedding (OLS) yang dapat melakukan pelepasan beban secara otomatis dan cepat. Secara umum OLS terpasang pada penghantar / IBT yang secara normal berbeban diatas 50% (kriteria N-1 tidak terpenuhi). Overload shedding pada gardu induk 150kV Sukolilo ini terpasang pada pemutus (PMT) transformator dan penghantar. Overload shedding akan bekerja untuk mengamankan peralatan listrik yang disebabkan beban lebih, dengan cara melepaskan beban yang sesuai.

Padadasarnya rele gangguan tanah adalah rele arus lebih yang dipergunakan untuk mengamankan gangguan ke tanah yaitu 1 (satu) fasa atau 2 (dua) fasa ke tanah. Rele gangguan tanah (Ground Fault Relay) berfungsi untuk memproteksi jaringan tenaga listrik terhadap gangguan antara fasa atau 3 fasa dan hanya bekerja pada satu arah saja. Rele ini terpasang pada jaringan tegangan tinggi, tegangan menengah, juga pada pengaman transformator tenaga dan berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik akibat adanya gangguan fasa ke tanah.

Proteksi terhadap gangguan tanah lebih sensitif daripada gangguan antar fasa. Proteksi ini dapat dilakukan menggunakan rele yang hanya akan merespon terhadap adanya arus residu sistem, karena komponen residual hanya muncul bilamana arus gangguan mengalir ketanah.

Secara keseluruhan, penyetelan rendah terhadap rele gangguan tanah memungkinkan bagi rele gangguan tanah menjadi sangat berguna, tidak hanya terhadap gangguan tanah, tetapi lebih jauh terhadap hampir semua gangguan, tetapi mungkin dibatasi oleh besarnya impedansi pentanahan atau oleh tahanan pentanahan. Komponen residual diekstraksi dengan cara menghubungkan CT (Current Transformer) jaringan secara paralel.

## 2.12. Gangguan Beban Lebih

Gangguan beban lebih terjadi karena beban dari sistem distribusi yang melebihi kapasitas sistem terpasang. Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus-menerus berlangsung dapat merusak peralatan. Beban lebih adalah sejumlah arus yang mengalir lebih besar dari arus nominal. Hal ini terjadi karena penggunaan daya listrik oleh konsumen melampaui kapasitas nominal yang disalurkan. Hal ini tidaklah merusak perlengkapan listrik tetapi dapat mengurangi umur peralatan listrik untuk waktu tertentu, karena tidak banyak berpengaruh terhadap peralatan listrik.

Gangguan tegangan lebih termasuk gangguan yang sering terjadi pada saluran distribusi berdasarkan penyebabnya maka gangguan tegangan lebih ini dapat dikelompokkan atas 2 hal :

a. Tegangan Lebih Power Frekwensi

Pada sistem distribusi hal ini biasanya disebabkan oleh kesalahan pada AVR atau pengatur tap pada trafo distribusi.

b. Tegangan Lebih Surja

Gangguan ini biasanya disebabkan oleh surja hubung atau surja petir, gangguan ini sering terjadi dan berdampak sangat besar bagi sistem distribusi adalah gangguan hubung singkat. Sehingga istilah gangguan pada sistem distribusi lazim mengacu kepada gangguan hubung singkat dan peralatan proteksi yang dipasang cenderung mengatasi gangguan hubung singkat ini.

Gangguan pada kondisi tegangan lebih salah satunya disebabkan sambaran petir yang tidak cukup teramankan oleh alat-alat pengaman petir. Petir menghasilkan surja tegangan yang sangat tinggi pada sistem tenaga listrik, besarnya tegangan dapat mencapai jutaan volt dan ini tidak dapat ditahan oleh isolasi. Surja ini berjalan secepat kilat pada jaringan listrik, faktor yang membatasinya adalah impedansi dan resistansi dari saluran. Untuk mengatasi surja petir ini sehingga tidak mengakibatkan kerusakan pada isolasi dan peralatan sistem tenaga lainnya, diperlukan suatu peralatan proteksi khusus untuk dapat mengatasi surja petir ini.

Akibat dari gangguan yang paling serius adalah terjadinya kebakaran yang tidak hanya akan merusak peralatan-peralatan, dimana gangguan yang terjadi bisa berkembang ke sistem sehingga akan mengakibatkan kegagalan total dari sistem. Berikut ini adalah akibat- akibat yang disebabkan oleh gangguan :

- a. Penurunan tegangan yang cukup besar pada sistem daya sehingga dapat merugikan pelanggan atau mengganggu kerja peralatan listrik.
- b. Bahaya kerusakan pada peralatan yang diakibatkan oleh arcing (busur api listrik).
- c. Bahaya kerusakan pada peralatan akibat overheating (pemanasan berlebih) dan akibat tekanan mekanis (kerusakan parah pada peralatan listrik dan sebagainya).
- d. Terganggunya stabilitas sistem dan ini dapat menimbulkan pemadaman menyeluruh pada sistem tenaga listrik.
- e. Menyebabkan penurunan tegangan sehingga koil tegangan relai gagal bertahan.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat dan waktu penelitian**

##### **3.1.1 Tempat Penelitian**

Tempat penelitian ini di laksanakan di wilayah ULP Deli Tua.

##### **3.2 Alat Penelitian**

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

1. Laptop
2. Data PLN
3. Microsoft Exel

##### **3.3 Metode Penelitian**

Untuk memenuhi penelitian ini di butuhkan data-data yang dapat mendukung dalam menganalisis penggunaan recloser. Ada beberapa data yang di butuhkan untuk melakukan penelitian ini yaitu antara lain sebagai berikut :

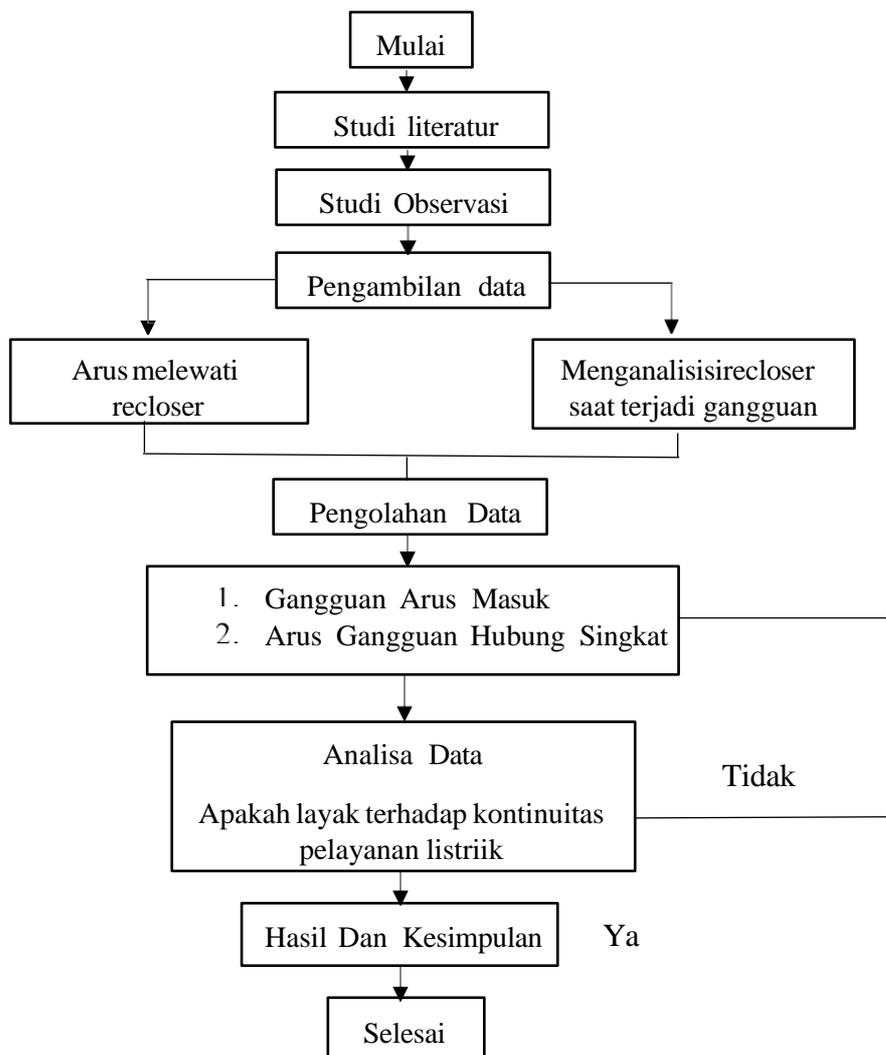
1. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh langsung terhadap objek penelitian. Hal ini dilakukan dengan observasi atau survei langsung ke tempat penelitian.

## 2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari literatur dan jurnal-jurnal tentang kajian penggunaan recloser untuk pengaman gangguan lebih.

### 3.4 Diagram Air Penelitian



### 3.4.1 Waktu

Waktu pelaksanaan tugas akhir ini berlangsung dimulai dari September 2024 sampai Februari 2025

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

No	Jadwal Kegiatan	Tahun 2024-2025																							
		September				Oktober				November				Desember				Januari				Februari			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Pengajuan Judul	■	■	■	■																				
2	Seminar Proposal					■	■	■	■	■	■	■	■												
3	Pengumpulan Data													■	■	■	■	■	■	■	■				
4	Seminar Hasil																					■	■	■	■
5	Sidang Tugas Akhir																					■	■	■	■

### 3.5. Tabel perolehan data

Berikut merupakan data yang akan diperoleh dari penelitian yang dilakukan di wilayah ULP Deli Tua.

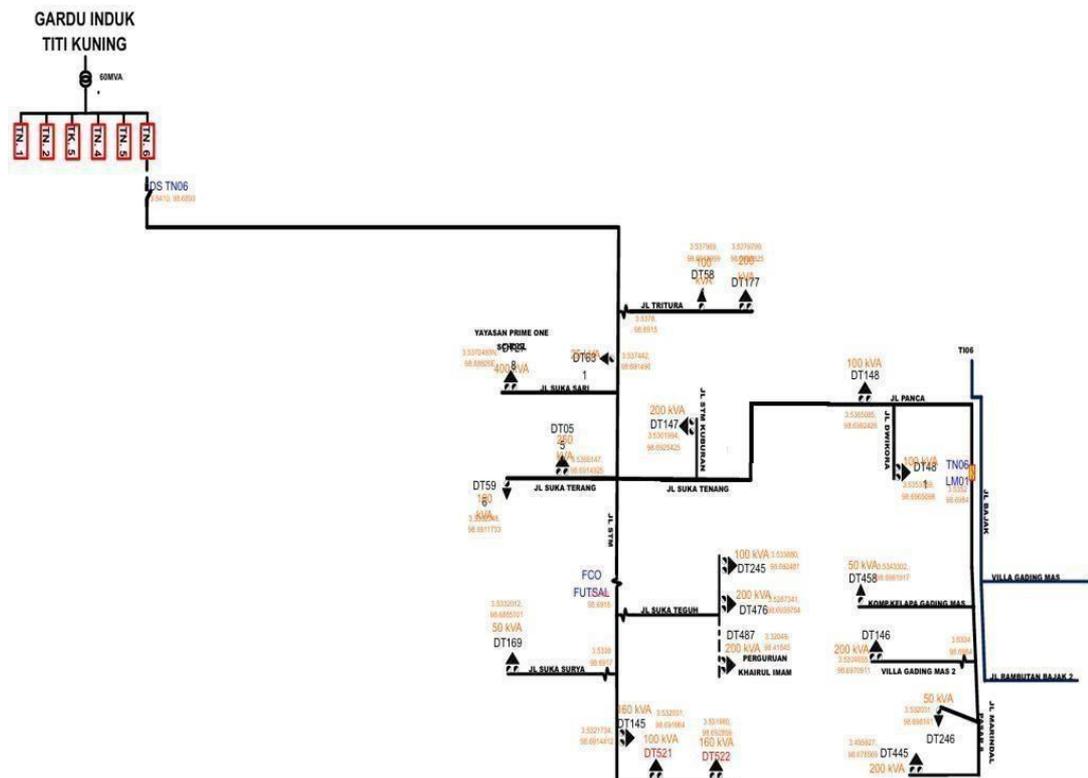
Tabel 3.2 Data Perhitungan Gangguan Pada PT. PLN (Persero) ULP Deli Tua

ID Trafo	Kapasitas (Kva)	Lokasi	Pelanggan	Laju Gangguan (Setahun)	Durasi Gangguan (Jam)

## BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Pengaruh Pemasangan *Recloser* Terhadap Keandalan Sistem Distribusi

Dalam analisis keandalan sistem distribusi, penggunaan Recloser dan Fuse Cut Out (FCO) memiliki dampak signifikan dalam meningkatkan kualitas pelayanan listrik kepadapelanggan. Perhitungan SAIDI dan SAIFI dilakukan untuk menentukan letak Recloser yang optimal pada jaringan distribusi. Perhitungan dilakukan pada setiap trafo di jaringan distribusi yang adadi PT. PLN (Persero) ULP Deli Tua. Seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 4. 1 Single Line Diagram Penyulang 20 kV

Sistem distribusi tenaga listrik sering mengalami gangguan akibat faktor eksternal seperti cuaca, gangguan peralatan, atau kontak dengan benda asing.

Untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi, diperlukan proteksi yang efektif seperti Recloser

#### 4.1.1 Fungsi dan Peran *Recloser*

- Perangkat otomatis yang memutuskan dan menyambungkan kembali arus listrik setelah mendeteksi gangguan sementara.
- Dapat melakukan pemutusan berulang (*reclosing*) sebelum gangguan dianggap permanen.
- Dipasang di jalur utama, sehingga dapat mengurangi dampak gangguan luas pada jaringan distribusi.

#### 4.1.2 Dampak Pemasangan *Recloser*

Parameter	Sebelum Pemasangan	Setelah Pemasangan
Frekuensi Gangguan (SAIFI)	Tinggi karena seluruh jaringan terkena dampak saat terjadi gangguan	Berkurang karena <i>recloser</i> menangani gangguan sementara
Durasi Gangguan (SAIDI)	Lama karena seluruh jaringan padam jika ada gangguan	Berkurang karena hanya segmen tertentu yang terputus
Pelanggan Terdampak	Semua pelanggan di jalur utama mengalami pemadaman	Hanya pelanggan pada segmen yang bermasalah yang terkena dampak
Respon Terhadap Gangguan	Manual, memerlukan waktu lama untuk pemulihan	Otomatis oleh <i>recloser</i> pemulihan lebih cepat

Parameter	Sebelum Pemasangan	Setelah Pemasangan
Keandalan Sistem	Rendah, sering terjadi pemadaman luas	Meningkat, karena sistem dapat menangani gangguan lebih baik

#### 4.2 Analisis Penempatan Optimal Recloser

Penempatan optimal recloser harus mempertimbangkan lokasi dengan tingkat gangguan tinggi serta konektivitas ke jaringan utama. Berdasarkan data yang telah dianalisis, lokasi optimal untuk pemasangan Recloser. Dengan pemasangan recloser pada titik-titik ini, diharapkan dapat mengisolasi gangguan pada lokasi tertentu tanpa mempengaruhi jaringan yang lebih luas, sehingga meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan. Menentukan Optimasi Penempatan Recloser harus mengetahui nilai SAIDI dan SAIFI yang didapat dari data PT. PLN (Persero) ULP Deli Tua tahun 2024.

$$SAIDI = \frac{t_i}{N_i}$$

Dimana:

$d$  = Durasi gangguan (jam/pelanggan/tahun)

$t_i$  = Durasi gangguan

$N_i$  = Jumlah pelanggan yang dilayani

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

Dimana:

$f$  = Frekuensi gangguan (kali/pelanggan/tahun)

$\lambda_i$  = Laju gangguan

$N_i$  = Jumlah pelanggan yang dilayani

- Analisa pada masing-masing transformator:

1. Trafo DT63

$$SAIDI = \frac{3.8}{19} = 0.2 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$SAIFI = \frac{6}{19} = 0.3158 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

2. Trafo DT145

$$SAIDI = \frac{4.5}{113} = 0.0398 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$SAIFI = \frac{6}{113} = 0.0531 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

3. Trafo DT58

$$SAIDI = \frac{4}{87} = 0.046 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$SAIFI = \frac{7}{87} = 0.0805 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

4. Trafo DT177

$$SAIDI = \frac{4.5}{136} = 0.0331 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$SAIFI = \frac{7}{136} = 0.0515 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

5. Trafo DT278

$$SAIDI = \frac{4.3}{318} = 0.0135 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$SAIFI = \frac{8}{138} = 0.0252 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

6. Trafo DT055

$$SAIDI = \frac{3.9}{217} = 0.0189 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

## 7. Trafo DT596

$$SAIDI = \frac{4.2}{138} = 0.304 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$SAIFI = \frac{3.86}{138} = 0.0507 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

## 8. Trafo DT245

$$SAIDI = \frac{4.1}{93} = 0.0441 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$SAIFI = \frac{6}{93} = 0.0645 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

## 9. Trafo DT476

$$SAIDI = \frac{3.8}{142} = 0.0268 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$SAIFI = \frac{6}{142} = 0.0423 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

## 10. Trafo DT487

$$SAIDI = \frac{4}{138} = 0.029 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$SAIFI = \frac{6}{138} = 0.0435 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

## 11. Trafo DT169

$$SAIDI = \frac{3.9}{38} = 0.1026 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$SAIFI = \frac{5}{38} = 0.1316 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

## 12. Trafo DT521

$$SAIDI = \frac{3.8}{71} = 0.0535 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$SAIFI = \frac{6}{71} = 0.0845 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

## 13. Trafo DT522

$$SAIDI = \frac{3.5}{121} = 0.0289 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$SAIFI = \frac{5}{121} = 0.0413 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

## 14. Trafo DT147

$$SAIDI = \frac{4.5}{141} = 0.0319 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$SAIFI = \frac{7}{141} = 0.0496 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

## 15. Trafo DT148

$$SAIDI = \frac{4}{79} = 0.0506 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$SAIFI = \frac{8}{19} = 0.1013 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

## 16. Trafo DT481

$$SAIDI = \frac{4.2}{84} = 0.05 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$SAIFI = \frac{6}{84} = 0.0714 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

## 17. Trafo DT458

$$SAIDI = \frac{4.1}{37} = 0.1108 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$SAIFI = \frac{9}{37} = 0.2432 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

## 18. Trafo DT146

$$SAIDI = \frac{5}{144} = 0.0347 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$SAIFI = \frac{8}{144} = 0.0556 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

## 19. Trafo DT246

$$SAIDI = \frac{4.2}{41} = 0.1024 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$SAIFI = \frac{7}{41} = 0.1707 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

## 20. Trafo DT445

$$SAIDI = \frac{4.3}{135} = 0.0319 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$SAIFI = \frac{6}{135} = 0.0444 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

Tabel 4. 1 Data Perhitungan Gangguan Pada PT. PLN (Persero) ULP Deli Tua

ID Trafo	Kapasitas (Kva)	Lokasi	Pelanggan	Laju Gangguan (Setahun)	Durasi Gangguan (Jam)	SAIDI (Jam/Pelanggan/Tahun)	SAIFI (Kali/Pelanggan/Tahun)
DT63	25	Jalan Stm	19	6	3.8	0.2	0.3158
DT145	160	Jalan Stm	113	6	4.5	0.0398	0.0531
DT58	100	Jalan Tritura	87	7	4	0.0460	0.0805
DT177	200	Jalan Tritura	136	7	4.5	0.0331	0.0515
DT278	400	Jalan Suka Sari	318	8	4.3	0.0135	0.0252
DT055	250	Jalan Suka Terang	206	6	3.9	0.0189	0.0291
DT596	160	Jalan Suka Terang	138	7	4.2	0.0304	0.0507
DT245	100	Jalan Suka Teguh	93	6	4.1	0.0441	0.0645

DT47 6	200	Jalan Suka Teguh	142	6	3.8	0.0268	0.0423
DT48 7	200	Jalan Suka Teguh	138	6	4	0.0290	0.0435
DT16 9	50	Jalan Suka Surya	38	5	3.9	0.1026	0.1316
DT52 1	100	Jalan Stm	71	6	3.8	0.0535	0.0845
DT52 2	160	Jalan Stm	121	5	3.5	0.0289	0.0413
DT14 7	200	Jalan Stm Kubura n	141	7	4.5	0.0319	0.0496
DT14 8	100	Jalan Panca	79	8	4	0.0506	0.1013
DT48 1	100	Jalan Dwikor a	84	6	4.2	0.0500	0.0714
DT45 8	50	Jalan Marind al	37	9	4.1	0.1108	0.2432
DT14 6	200	Jalan Marind al	144	8	5	0.0347	0.0556
DT24 6	50	Jalan Marind al	41	7	4.2	0.1024	0.1707
DT44 5	200	Jalan Marind al	135	6	4.3	0.0319	0.0444

Dari tabel 4.1 diatas menyajikan data terkait keandalan jaringan listrik berdasarkan parameter ID Trafo, kapasitas trafo (kVA), lokasi, jumlah pelanggan, frekuensi gangguan, durasi gangguan rata-rata, serta indikator keandalan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*).

Berdasarkan data yang tersedia, kapasitas trafo bervariasi antara 25 kVA hingga 400 kVA. Frekuensi gangguan per tahun pada setiap trafo berkisar antara 2.1 hingga 5.25 kali, sedangkan durasi gangguan (SAIDI) berada dalam rentang 2.25 hingga 4.24 jam per pelanggan per tahun.

- SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) menunjukkan frekuensi gangguan rata-rata per pelanggan per tahun. Nilai SAIFI tertinggi adalah 5.25 kali per pelanggan per tahun yang tercatat pada DT445 (Jalan Marindal) dan yang terendah adalah 1.77 kali per pelanggan per tahun yang tercatat pada DT521 (Jalan STM).
- SAIDI (System Average Interruption Duration Index) menunjukkan durasi gangguan rata-rata per pelanggan per tahun. Nilai SAIDI tertinggi adalah 4.24 jam per pelanggan per tahun yang tercatat pada DT246 (Jalan Marindal), dan yang terendah adalah 2.25 jam per pelanggan per tahun yang tercatat pada DT177 (Jalan Tritura).

Dari data ini, terlihat bahwa Jalan Panca menuju Jalan Marindal memiliki tingkat gangguan yang tertinggi, baik dari segi frekuensi (SAIFI) maupun durasi (SAIDI). Ini menunjukkan bahwa area ini sering mengalami gangguan dan memiliki durasi yang cukup lama, yang dapat memengaruhi kualitas pasokan listrik di wilayah tersebut.

Berdasarkan data SAIDI dan SAIFI, berikut adalah beberapa pertimbangan yang dapat digunakan untuk menentukan lokasi pemasangan recloser:

Recloser biasanya dipasang di lokasi yang sering mengalami gangguan dan dapat mempengaruhi area yang lebih besar. Fungsi recloser adalah untuk memulihkan aliran listrik secara otomatis setelah gangguan singkat, sehingga gangguan kecil tidak mempengaruhi pelanggan dalam jangka panjang.

Berdasarkan data, area yang dapat dipertimbangkan untuk pemasangan recloser adalah:

- Jalan Panca (DT148): Mempunyai frekuensi gangguan tinggi (8 kali/tahun) dan SAIFI relatif tinggi, yaitu 0.1013 kali per pelanggan per tahun. Durasi gangguan sekitar 4 jam, yang menunjukkan gangguan signifikan. Dengan adanya recloser, gangguan bisa dipulihkan dengan cepat.

- Jalan Marindal (DT458, DT146, DT246): Lokasi ini memiliki frekuensi gangguan tinggi (9 kali/tahun pada DT458, 8 kali/tahun pada DT146, dan 7 kali/tahun pada DT246). Durasi gangguan juga signifikan, sehingga pemasangan recloser di sini akan membantu mengurangi durasi gangguan.

### 4.3 Estimasi Pengurangan Frekuensi dan Durasi Gangguan

Estimasi pengurangan frekuensi dan durasi gangguan bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas tindakan perbaikan dalam meningkatkan keandalan jaringan listrik. Dengan menganalisis data sebelum dan sesudah perbaikan, dapat diketahui sejauh mana frekuensi gangguan (SAIFI) dan durasi gangguan (SAIDI) mengalami penurunan. Berdasarkan data yang tersedia, pengurangan frekuensi gangguan terlihat dari penurunan jumlah gangguan per pelanggan per tahun, yang mencerminkan peningkatan stabilitas sistem. Sementara itu, pengurangan durasi gangguan menunjukkan perbaikan dalam respons penanganan gangguan, baik dari segi kecepatan pemulihan jaringan maupun efektivitas prosedur pemeliharaan dan pengaruh keandalan dari recloser yaitu recloser mengurangi SAIFI dan SAIDI sebesar 40-50%, dengan efektivitas lebih tinggi pada sistem dengan banyak gangguan sementara.

#### Metode Penentuan Nilai Sesudah

1. Asumsi Efisiensi Recloser
  - Recloser biasanya mampu mengurangi jumlah gangguan 30%-50%.
  - Durasi gangguan berkurang karena recloser bisa menghidupkan kembali jaringan tanpa perlu penanganan manual, biasanya sekitar 30%-60% pengurangan.
2. Menggunakan Faktor Reduksi Gangguan
  - Jika asumsi reduksi frekuensi gangguan adalah 40%, maka:  
 Frekuensi Gangguan Sesudah = Frekuensi Gangguan Sebelum  $\times$  (1-0.4)

- o Jika asumsi reduksi durasi gangguan adalah 40%, maka:  
Durasi Gangguan Sesudah = Durasi Gangguan Sebelum  $\times (1-0.4)$

### 3. Perhitungan Langsung

#### Rumus Perhitungan

- Frekuensi Gangguan Sesudah

$$FG_{sesudah} = FG_{sebelum} \times (1 - R_f)$$

Dengan asumsi reduksi frekuensi gangguan  $R_f = 40\%$  atau 0.4

- Durasi Gangguan Sesudah

$$DG_{sesudah} = DG_{sebelum} \times (1 - R_d)$$

Dengan asumsi reduksi durasi gangguan  $R_f = 40\%$  atau 0.4

- SAIFI Sesudah

$$SAIFI_{sesudah} = SAIFI_{sebelum} \times (1 - R_f)$$

- SAIDI Sesudah

$$SAIDI_{sesudah} = SAIDI_{sebelum} \times (1 - R_d)$$

#### Perhitungan untuk Tiap Trafo

##### DT148

- $FG_{sesudah} = 8 \times (1 - 0.4) = 4.8$
- $DG_{sesudah} = 4 \times (1 - 0.4) = 2.4$
- $SAIFI_{sesudah} = 0.1013 \times (1 - 0.4) = 0.0608$
- $SAIDI_{sesudah} = 0.0506 \times (1 - 0.4) = 0.0304$

##### DT445

- $FG_{sesudah} = 6 \times (1 - 0.4) = 3.6$
- $DG_{sesudah} = 4.3 \times (1 - 0.4) = 2.58$
- $SAIFI_{sesudah} = 0.0444 \times (1 - 0.4) = 0.0266$
- $SAIDI_{sesudah} = 0.0319 \times (1 - 0.4) = 0.0191$

DT146

- $FG_{sesudah} = 8 \times (1 - 0.4) = 4.8$
- $DG_{sesudah} = 5 \times (1 - 0.4) = 3$
- $SAIFI_{sesudah} = 0.0556 \times (1 - 0.4) = 0.0334$
- $SAIDI_{sesudah} = 0.0347 \times (1 - 0.4) = 0.0208$

DT458

- $FG_{sesudah} = 9 \times (1 - 0.4) = 5.4$
- $DG_{sesudah} = 4.1 \times (1 - 0.4) = 2.46$
- $SAIFI_{sesudah} = 0.2432 \times (1 - 0.4) = 0.1459$
- $SAIDI_{sesudah} = 0.1108 \times (1 - 0.4) = 0.0665$

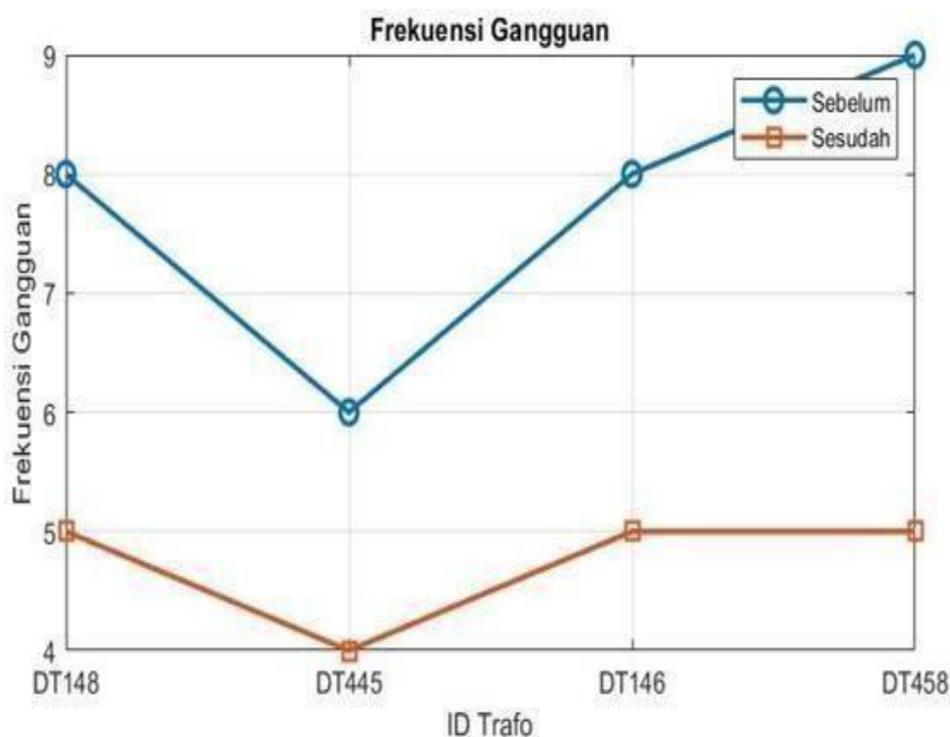
Tabel 4. 2 Estimasi Pengurangan Frekuensi dan Durasi Gangguan Pada Recloser

ID Trafo	Pelanggan	Frekuensi Gangguan Sebelum	Durasi Gangguan Sebelum (Jam)	SAIFI Sebelum	SAIDI Sebelum	Frekuensi Gangguan Sesudah	Durasi Gangguan Sesudah (Jam)	SAIFI Sesudah	SAIDI Sesudah
DT148	79	8	4	0.1013	0.0506	4.8 → (5)	2.4	0.0608	0.0304
DT445	135	6	4.3	0.0444	0.0319	3.6 → (4)	2.58	0.0266	0.0191
DT146	144	8	5	0.0556	0.0347	4.8 → (5)	3	0.0334	0.0208
DT458	37	9	4.1	0.2432	0.1108	5.4 → (5)	2.46	0.1459	0.0665

Hasil Analisis Pemasangan Recloser:

- Frekuensi gangguan berkurang sekitar 40% setelah pemasangan.
- SAIFI mengalami penurunan, menandakan pelanggan mengalami lebih sedikit gangguan.
- SAIDI juga menurun, menunjukkan bahwa gangguan lebih cepat dipulihkan.

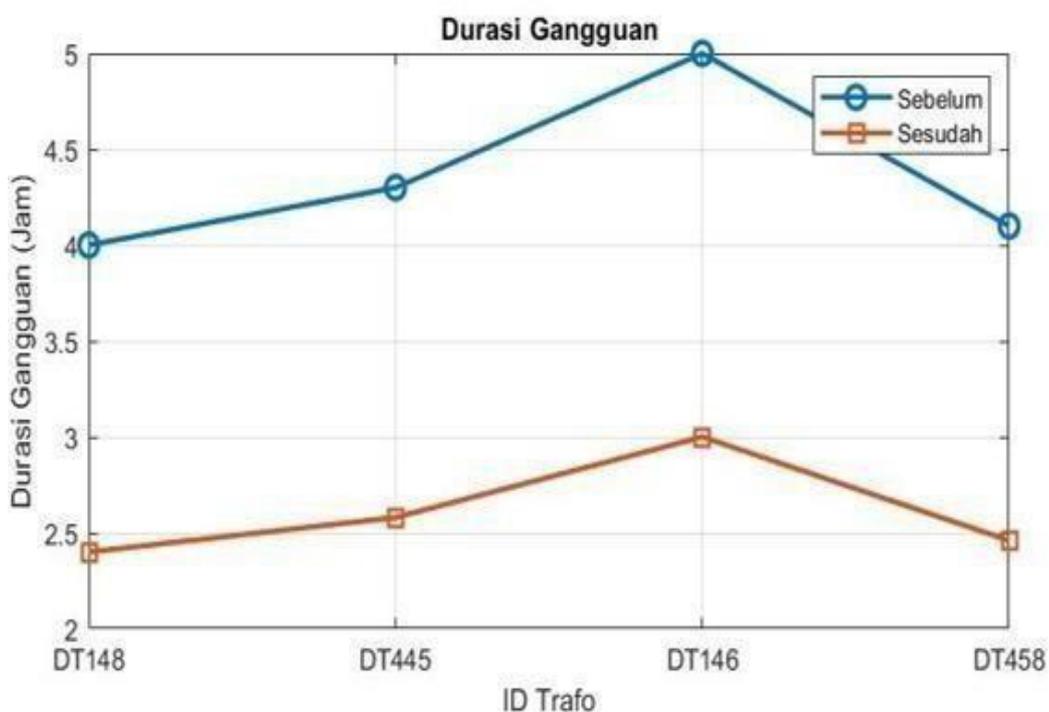
Nilai setelah pemasangan Recloser didapat berdasarkan asumsi perbaikan yang terjadi setelah alat proteksi dipasang. Pengurangan ini dapat dihitung berdasarkan pengalaman sebelumnya atau perhitungan estimasi dari model keandalan sistem. Untuk menghitung pengurangan frekuensi dan durasi gangguan, dapat menggunakan asumsi penurunan sekitar 40% dalam banyak kasus setelah pemasangan recloser.



Gambar 4.1 Grafik Estimasi Pengurangan Frekuensi Gangguan pada Recloser

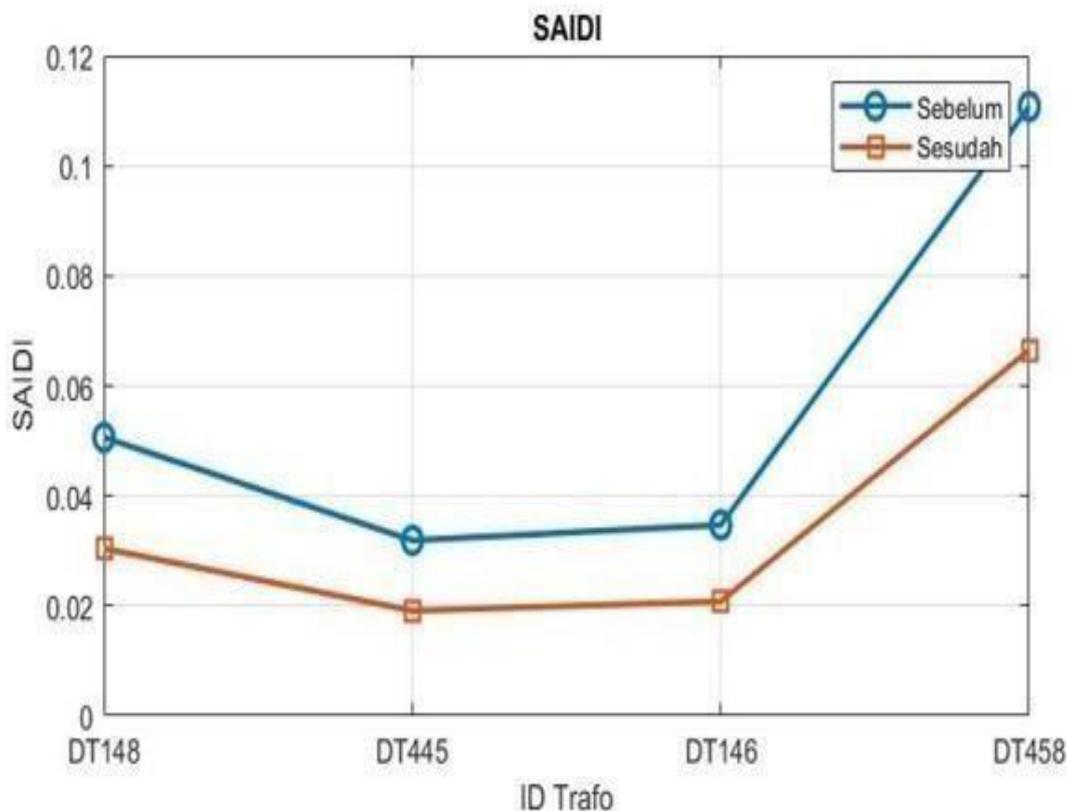
Dari gambar 4.1 memperlihatkan penurunan frekuensi gangguan listrik pada masing-masing trafo setelah dilakukan pemasangan recloser. Frekuensi gangguan mengacu pada seberapa sering suatu sistem distribusi mengalami pemadaman atau gangguan listrik dalam kurun waktu tertentu. Dari data yang ditampilkan, terlihat bahwa keempat trafo mengalami pengurangan signifikan pada jumlah gangguan. Sebagai contoh, Trafo DT148 mengalami penurunan dari 8 kejadian menjadi 5, DT445 dari 6 menjadi 4, DT146 dari 8 menjadi 5, dan DT458 dari 9 menjadi 5 gangguan.

Penurunan ini mencerminkan efektivitas pemasangan recloser dalam mencegah terjadinya gangguan berulang akibat gangguan sementara seperti petir atau gangguan beban sesaat. Dengan adanya recloser, sistem mampu memulihkan diri secara otomatis tanpa perlu pemutusan daya yang lama atau berkali-kali. Dampaknya adalah sistem distribusi menjadi lebih stabil dan pelanggan mengalami lebih sedikit gangguan, yang tentu meningkatkan kenyamanan dan keandalan layanan.



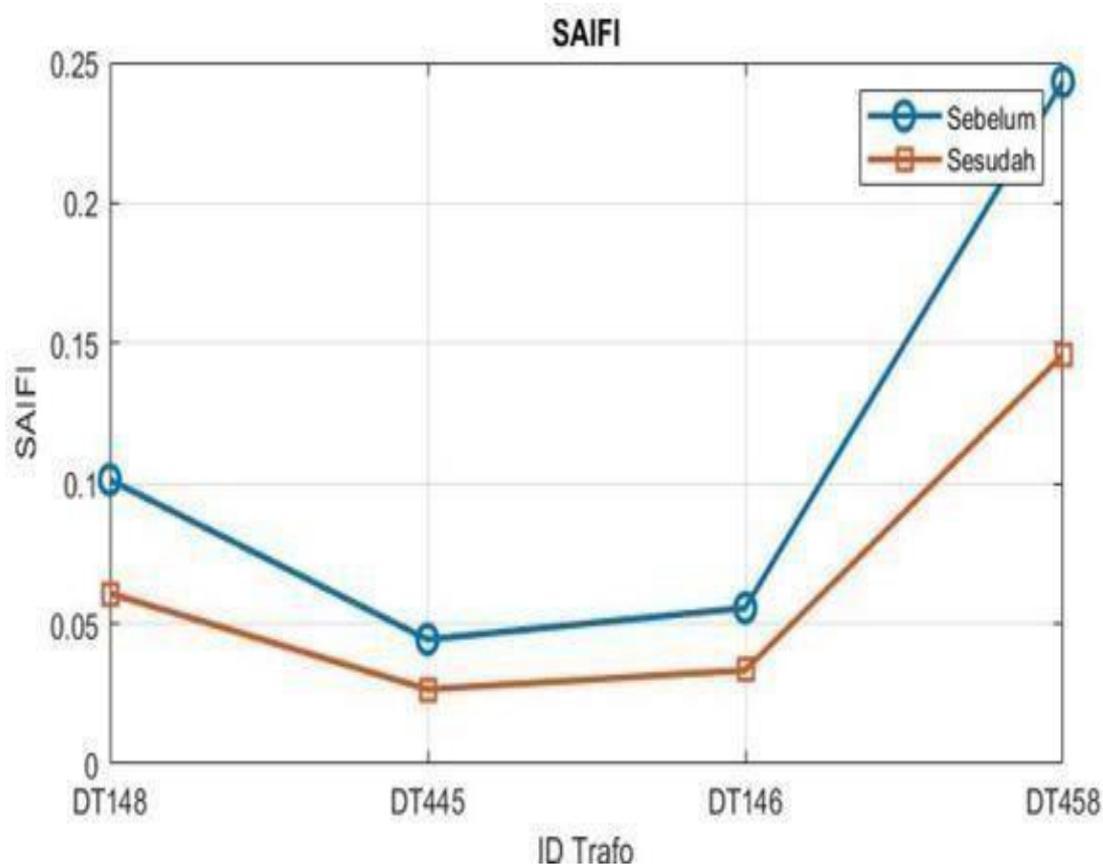
Gambar 4.2 Grafik Estimasi Pengurangan Durasi Gangguan pada Recloser. Dari gambar 4.2 menggambarkan perbandingan durasi rata-rata gangguan listrik (dalam satuan jam) yang dialami pelanggan sebelum dan sesudah pemasangan recloser. Durasi gangguan ini merupakan indikator seberapa cepat sistem dapat pulih setelah mengalami gangguan. Trafo DT148 mencatat penurunan dari 4 jam menjadi 2,4 jam, DT445 dari 4,3 jam menjadi 2,58 jam, DT146 dari 5 jam menjadi 3 jam, dan DT458 dari 4,1 jam menjadi 2,46 jam.

Penurunan durasi gangguan ini menunjukkan adanya peningkatan dalam kecepatan respon sistem terhadap gangguan. Recloser secara otomatis mendeteksi dan memutuskan aliran listrik sementara untuk menghindari kerusakan lebih lanjut, lalu menyambungkan kembali secara otomatis apabila kondisi normal telah kembali. Dengan begitu, waktu pemadaman berkurang drastis, dan ini sangat penting untuk sektor-sektor yang membutuhkan kontinuitas daya seperti industri, rumah sakit, atau fasilitas publik.



Gambar 4.3 Grafik Estimasi Penurunan Nilai SAIDI pada Recloser Dari gambar 4.3 menyajikan data penurunan SAIDI (System Average Interruption Duration Index), yaitu indeks durasi rata-rata gangguan per pelanggan dalam satuan jam per tahun. Nilai ini mencerminkan total waktu pemadaman yang dialami pelanggan dan menjadi salah satu parameter penting dalam menilai keandalan suatu sistem distribusi listrik. Dari data, terjadi penurunan SAIDI di seluruh trafo: DT148 dari 0.0506 menjadi 0.0304, DT445 dari 0.0319 menjadi 0.0191, DT146 dari 0.0347 menjadi 0.0208, dan DT458 dari 0.1108 menjadi 0.0665.

Penurunan SAIDI menunjukkan bahwa pelanggan mengalami pemadaman dengan durasi yang lebih singkat sepanjang tahun setelah recloser dipasang. Hal ini tidak hanya meningkatkan kepercayaan pelanggan terhadap penyedia layanan listrik, tetapi juga mengurangi potensi kerugian ekonomi akibat pemadaman listrik, terutama pada sektor usaha kecil, industri, dan fasilitas layanan penting.



Gambar 4.4 Grafik Estimasi Penurunan Nilai SAIFI pada Recloser

Dari gambar 4.4 menggambarkan perubahan nilai SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), yaitu indeks frekuensi rata-rata gangguan per pelanggan dalam satu tahun. SAIFI mengukur seberapa sering pelanggan mengalami pemadaman, sehingga menjadi indikator penting dalam menentukan tingkat keandalan distribusi listrik. Dari grafik, terlihat penurunan pada seluruh trafo: DT148 dari 0.1013 menjadi 0.0608, DT445 dari 0.0444 menjadi 0.0266, DT146 dari 0.0556 menjadi 0.0334, dan DT458 dari 0.2432 menjadi 0.1459.

Penurunan SAIFI menunjukkan bahwa pemasangan recloser berhasil mengurangi jumlah gangguan yang harus dirasakan oleh pelanggan. Dengan berkurangnya jumlah pemadaman, pelanggan mengalami peningkatan kenyamanan, dan risiko kerusakan alat elektronik akibat gangguan listrik juga menurun. Ini menjadi bukti bahwa tindakan

perbaikan melalui pemasangan recloser membawa dampak nyata terhadap peningkatan mutu dan kontinuitas pelayanan tenaga listrik.

Hasil Analisis Pemasangan Recloser:

- Frekuensi gangguan berkurang sekitar 40% setelah pemasangan.
- SAIFI mengalami penurunan, menandakan pelanggan mengalami lebih sedikit gangguan.
- SAIDI juga menurun, menunjukkan bahwa gangguan lebih cepat dipulihkan.

Nilai setelah pemasangan Recloser didapat berdasarkan asumsi perbaikan yang terjadi setelah alat proteksi dipasang. Pengurangan ini dapat dihitung berdasarkan pengalaman sebelumnya atau perhitungan estimasi dari model keandalan sistem. Untuk menghitung pengurangan frekuensi dan durasi gangguan, dapat menggunakan asumsi penurunan sekitar 40% dalam banyak kasus setelah pemasangan recloser.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pemasangan recloser berpengaruh signifikan dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi dengan mengurangi jumlah pemadaman serta durasi gangguan.
2. Penempatan recloser di jalur utama dan lateral dapat meningkatkan keandalan jaringan listrik di Jalan Panca hingga Jalan Marindal. Recloser ditempatkan sebelum percabangan besar untuk mencegah pemadaman seluruh jaringan akibat gangguan pada cabang.
3. Estimasi pengurangan gangguan setelah pemasangan recloser menunjukkan penurunan frekuensi pemadaman dan penurunan durasi gangguan rata-rata hingga 40% yang berdampak positif terhadap kontinuitas suplai listrik.

#### **5.2 Saran**

1. Melakukan pemantauan berkala terhadap kinerja Recloser untuk memastikan perangkat berfungsi optimal dalam mengurangi gangguan.
2. Menyesuaikan lokasi pemasangan berdasarkan data historis gangguan yang diperbarui secara berkala, sehingga perlindungan lebih efektif.
3. Monitoring dan evaluasi setelah pemasangan recloser guna memastikan efektivitas dalam mengurangi gangguan dan menentukan apakah diperlukan tambahan perangkat perlindungan lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arman, A., & Rijanto, T. (2024). Analisis Penempatan Recloser Terhadap Keandalan Sistem Tenaga Listrik Jaringan Distribusi 20kV di PT. PLN (Persero) ULP AMUNTAI. *Jurnal Teknik Elektro*, 13(2), 130-134.
- Arta, G. A. W., Karmiathi, N. M., & Mudiana, I. N. (2022). *Analisis Penempatan Recloser Dan Fuse Cut Out Terhadap keandalan Sistem Tenaga Listrik Di Penyulang Lovina Di PT. PLN (PERSERO) ULP Singaraja* (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Bali).
- Badriana, B., Jordan, J., Salahuddin, S., Meliala, S., & Kartika, K. (2021). Analisis Penempatan Recloser Guna memaksimalkan Kinerja Sistem Tenaga Listrik di Jaringan distribusi 20 kv pada pt. PLN (Persero) unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) sigli. *Jurnal Energi Elektrik*, 10(1), 30-34.
- Bagusiam, T. F. L. L., Warsito, A., & Hermawan, H. (2017). Optimisasi Penempatan Recloser untuk Meminimalisir Nilai Saifi dan Saidi Pada Sistem Distribusi Jaringan Radial Penyulang Srl-02 Menggunakan Artificial Bee Colony Algorithm. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 6(4), 651-656.
- Hani, S., Santoso, G., & Wibowo, R. D. (2019). Penempatan Recloser Sebagai Parameter Keandalan Sistem Proteksi Pada Sistem Distribusi. *Prosiding Simposium Nasional Rekayasa Aplikasi Perancangan dan Industri*, 21-27.
- Hardiyanto, H., Arlenny, A., & Zulfahri, Z. (2017). Studi Penempatan Recloser Pada Jaring Distribusi 20 kV di Penyulang 21 Tarai PT. PLN (Persero) Rayon Panam. *Jurnal Teknik*, 11(2), 1-9.
- Indra, S. R., & Sukma, D. Y. (2016). *Kajian Penempatan Recloser pada Jaringan Distribusi Menggunakan Metode Algoritma Genetika Berdasarkan Keandalan Maksimum* (Doctoral dissertation, Riau University).
- Suheta, T. (2022). Analisa Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV Dan Rekonfigurasi Recloser Pada Penyulang Kamal. *Jurnal JEETech*, 3(2), 65-70.

- Sukadana, I. W., & Ramadhani, R. F. (2020). Koordinasi Proteksi Arus Lebih Penyulang Tembuku terhadap Indeks Keandalan Sistem Distribusi 20 KV PT. PLN (Persero) ULP Bangli. *J-Eltrik*, 2(2), 92-106.
- Wijayanti, D., Hermawan, H., & Handoko, S. (2017). Optimisasi Penempatan Recloser untuk Meminimalisir Nilai SAIFI dan SAIDI pada Penyulang PDP 04 Menggunakan Particle Swarm Optimization (PSO). *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 5(3), 315-319.
- Yolnasdi, Y., Palaha, F., & Efendi, J. (2020). Perencanaan Penempatan Recloser Berdasarkan Gangguan di Jaringan Distribusi 20 kV Menggunakan ETAP 12.6. *SainETIn: Jurnal Sains, Energi, Teknologi, dan Industri*, 5(1), 27-34.

# **LAMPIRAN**



UID SUMATERA UTARA  
UP3 MEDAN  
ULP DELITUA

Nomor : 11/MUM.01.01/ULPDTA/2025  
Lampiran : Ada  
Sifat : Segera  
Perihal : Balasan Permohonan Pengambilan  
Data

25 April 2025

Kepada

Yth. Bapak/Ibu Dekan  
Universitas Muhammadiyah  
Sumatera Utara  
Jl. Muktar Basri No3  
Medan – Sumatera Utara

Bersama ini kami sampaikan bahwa siswa berikut ini :

No	Nama	NIRM	PROGRAM STUDI
1	RIZKI WANSYAH	2007220079	Teknik Elektro

Berdasarkan Surat Permohonan Nomor : 777/II.3.AU/UMSU-07/B/2025 perihal permohonan pengambilan data , pada prinsipnya kami TERIMA untuk melaksanakan pengambilan data untuk keperluan penyusunan tugas akhir (magang) . Dalam pelaksanaannya mahasiswa diwajibkan menaati seluruh ketentuan serta peraturan yang berlaku di PLN Delitua.

Demikian disampaikan, atas perhatiannya diucapkan terimakasih.

MANAGER

  
JADIMAN ARFEDI HUTAPEA

