

ANALISIS PENAMBAHAN RECLOSER DENGAN SKENARIO PECAH SECTION PADA PENYULANG NGULING ULP GRATI

Lailatus Sholichah¹⁾, dan Ida Widihastuti²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung
Jl. Kaligawe Raya No.Km.4, Terboyo Kulon, Kec. Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah 50112
e-mail: 30602200181@std.unissula.ac.id¹⁾, ida_fti@unissula.ac.id²⁾

ABSTRACT

The flow of electrical energy has the potential to experience disturbances which are often caused by short circuit currents between phases or phase to ground short circuits. Maintenance improvements by PT PLN (Persero) Grati Customer Service Unit (ULP) need to be carried out by adding tools to inhibit the blackout process. One of the largest distribution of electrical energy at ULP Grati is the Nguling Feeder, with 24 disruptions occurring in 2023-2024. This interference can be reduced by adding a recloser to the Nroll Feeder. Apart from making additions, it is necessary to carry out an analysis of the determination or placement of the recloser on the Nguling Feeder with the aim of detecting disturbance conditions. Several scenarios can be applied to obtain optimal results by taking into account the selling kWh value, SAIDI SAIFI, and the number of blackout areas as an effort to minimize blackout areas. The broken section method can be a fairly accurate calculation in determining the SAIDI SAIFI value and saved selling kWh. The results of the research show that the use of a recloser and determining its configuration is very important to minimize the outage area. Before installing the recloser, the SAIDI percentage was 43% with an index of 20.76, while the SAIFI percentage was 11% with an index of 5.50. After installing the recloser based on the section rupture scenario, the SAIDI SAIFI percentage decreased, namely: SAIDI 36% with an index of 17.24 and SAIFI 10% with an index of 4.97. This shows that the SAIDI SAIFI target as an indicator for measuring the recloser on the Nguling Feeder is appropriate for determining system reliability.

Keywords: Broken Section, Recloser, Penyulang Nguling, SAIDI SAIFI

ABSTRAK

Aliran energi listrik memiliki potensi mengalami gangguan yang sering ditimbulkan oleh arus hubung singkat antar fase atau hubung singkat fase ke tanah. Adanya perbaikan pemeliharaan oleh PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Grati perlu dilakukan dengan menambah alat untuk menghambat proses pemadaman. Distribusi energi listrik terbesar pada ULP Grati salah satunya adalah Penyulang Nguling, dengan 24 kali terjadi gangguan pada tahun 2023-2024. Gangguan tersebut dapat dikurangi dengan menambahkan recloser pada Penyulang Nguling. Selain melakukan penambahan, perlu dilakukan analisis penentuan atau peletakan recloser pada Penyulang Nguling dengan tujuan mendeteksi kondisi gangguan. Beberapa skenario dapat diterapkan untuk mendapatkan hasil optimal dengan memperhatikan nilai kWh jual, SAIDI SAIFI, dan jumlah section area padam sebagai upaya meminimalkan area padam. Metode pecah section dapat menjadi salah satu perhitungan yang cukup akurat dalam menentukan nilai SAIDI SAIFI dan kWh jual yang terselamatkan. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwasannya penggunaan recloser dan penentuan konfigurasi memang sangat penting untuk meminimalkan area padam. Sebelum pemasangan recloser, persentase SAIDI adalah 43% dengan indeks 20.76, sedangkan persentase SAIFI adalah 11% dengan indeks 5.50. setelah dilakukan pemasangan recloser berdasarkan scenario pecah section, persentase SAIDI SAIFI mengalami penurunan, yakni: SAIDI 36% dengan indeks 17.24 dan SAIFI 10% dengan indeks 4.97. Hal tersebut menunjukkan bahwa target SAIDI SAIFI sebagai indikator pengukuran recloser pada Penyulang Nguling menjadi tepat guna untuk menentukan keandalan sistem.

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

I. PENDAHULUAN

SEIRING dengan pesatnya perkembangan penduduk dan teknologi, melakukan perbaikan dan meningkatkan efektivitas pemeliharaan jaringan menjadi fokus utama bagi PT. PLN (Persero). Proses pendistribusian energi listrik seringkali mengalami gangguan, salah satunya adalah Penyulang Nguling. Berdasarkan data gangguan dari Unit Layanan Pelanggan (ULP) Grati, kegagalan suatu perangkat akibat adanya hubung singkat antar fase atau hubung singkat fase ke tanah menjadi faktor utama terjadinya pemadaman.

Gangguan listrik bahkan pemadaman dapat dikarenakan ketidaksesuaian antara target kWh beli dan kWh jual ULP Grati. Ketidaksesuaian tersebut

kemudian diikuti dengan naiknya nilai SAIDI SAIFI dan area yang terdapat pemadaman menjadi luas.

Penerapan alat *recloser* sebagai pemutus tenaga dengan dilengkapi peralatan kontrol arus tegangan dapat menjadi detektor arus gangguan dan pemutus otomatis. Jika disesuaikan dengan panjang saluran Penyulang Nguling (76,828 kms), perlu dipasang 2 atau lebih PBO pada jarak tertentu untuk membebaskan gangguan. Peletakan *recloser* menjadi dasar antara titik gangguan dan panjang saluran, sehingga penyajian data akan dioptimalkan dengan simulasi skenario pecah *section* untuk meminimalkan area padam dan melindungi sistem di bawahnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Jaringan distribusi yang merupakan aliran tempat aliran energi listrik juga dapat mengalami gangguan. Penggunaan *Recloser* pada Sistem Jaringan Distribusi 20kV yang disusun oleh Abraham Silaban dari Universitas Sumatera Utara, menyebutkan bahwa adanya gangguan pada aliran tenaga listrik menjadi pemicu utama terjadinya pemadaman. Adanya *recloser* disebutkan dapat mengamankan gangguan kecil pada penggunaan *circuit breaker*, sehingga dapat membuka secara otomatis bila terjadi gangguan [1]. RPM Simanjuntak pada penelitiannya yang berjudul: Analisis Keandalan Penempatan *recloser* dan Besar Arus Hubungan Singkat di PT. PLN (Persero) Distribusi Area Yogyakarta juga berpendapat mengenai peranan penting *recloser*. Pola penempatan *Recloser* yang benar dan efektif dapat menangani gangguan akibat penyebaran penyulang sistem distribusi [2]. Oleh sebab itu diperlukan pembatasan atau pengecekan terdapat aktivitas *section* padam pada suatu penyulang [3]. Pendapat tersebut didukung oleh peneliti terdahulu pada topik Sistem Distribusi Tenaga Listrik oleh Ir. Abdul Hadi (1994) yang membahas secara keseluruhan sistem pendistribusian tenaga Listrik 20kV dari keluaran Gardu Induk hingga ke pelanggan [4]. Basis proteksi yang disebutkan merupakan cara kerja *Recloser* secara umum.

Sistem pecah *section* juga menjadi penentu dikarenakan dapat mengoptimalkan peran *recloser* dalam penanganan pemadaman. Hal tersebut selaras dengan penelitian yang diangkat oleh M. Rizal Sanaki dengan judul Peningkatan Indek Keandalan dengan Penambahan *recloser* pada Sistem Distribusi di PLTD Subaim Menggunakan Metode *Section Technique*. Perbandingan penggunaan *recloser* bertipe VWVE dengan tipe lainnya dengan menempatkan *relay* arus juga menghasilkan hasil serupa [5].

Penempatan secara manuver dan pembagian jaringan distribusi pada setiap *section* dari awal hingga *section* ujung jaringan dapat mengoptimalkan kinerja *recloser* sebagai peralatan proteksi. Memperhitungkan adanya arus besar hubung dan singkat pada saat melakukan konfigurasi pada *recloser* dapat menurunkan adanya potensi gangguan. Proteksi dapat mengurangi terjadinya kerusakan peralatan listrik akibat proses abnormal yang terjadi dan juga sebagai media untuk minimalisir percepatan perluasan daerah terganggu menjadi sekecil mungkin. Dikutip dari Jurnal Simulasi Koordinasi Proteksi Sistem Tenaga Listrik Menggunakan ETAP (2024) oleh Nurul Utami, dkk jenis gangguan seperti gangguan beban lebih (*overload*), gangguan tegangan lebih (*over voltage*), gangguan hubung singkat (*short circuit*), dan gangguan hubung terbuka (*open circuit*) dapat menciptakan sirkuit dengan resistansi sangat rendah [6]. Penggunaan *software* ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*)

sebagai Analisis Setting Proteksi OCR dan GFR Feeder Kpk-14 Krapyak Menggunakan ETAP 16.0.0, oleh Caesar dalam penelitiannya yang menjelaskan mengenai berbagai macam proteksi salah satunya adalah [7].

Komponen penting sistem tenaga listrik yaitu, pembangkitan, sistem transmisi, dan distribusi memiliki kaitan dengan penyediaan dan penyaluran energi listrik kepada konsumen. Penelitian ini berfokus untuk melibatkan komponen penting yang menjadi pendukung aliran listrik dengan menghitung jumlah KWh jual, SAIDI, SAIFI, dan jumlah *section* area padam. Pengusulan skenario konstruksi yang berkaitan dengan peletakan penempatan *recloser* pada Penyulang Nguling dirahapkan dapat mengurangi gangguan yang terjadi pada tahun 2024. Penelitian ini juga diupayakan untuk memberikan manfaat pada Penyulang Nguling sehingga tidak terjadi pemutusan berlebih pada area padam dan tidak menimbulkan kerugian material secara operasional.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengambil Lokasi di PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Grati UP3 Pasuruan, Jawa Timur dengan rentang penelitian Januari 2024 sampai dengan Juni 2024. Berikut proses penelitian yang terbagi menjadi beberapa tahapan berdasarkan urutan penelitian untuk memudahkan dalam penyusunan dan menghindari adanya kesalahan dalam pembuatan laporan. Berikut merupakan tahapan atau langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian:

1. Perhitungan Recloser

Melakukan perhitungan berdasarkan nilai data mentah yang diperoleh di lapangan dan diolah untuk menghasilkan data penelitian.

2. Pengukuran Efisiensi Recloser

Pengujian dilakukan dengan menghitung SAAIDI, SAIFI, menghitung kWh jual, dan keandalan setelah pemasangan *recloser*.

3. Analisis dan Evaluasi Perhitungan

Analisis dan evaluasi digitalisasi dilakukan untuk menilai efektivitas dan efisiensi dari perhitungan data dengan perhitungan kondisi awal setelah perbaikan dilakukan.

Sumber data yang dibutuhkan dalam penelitian, meliputi:

1. Data Panjang Penyulang
2. Data Jenis Penghantar dan Ukuran Penyulang
3. Data Beban UPD2
4. Data Gangguan Penyulang Bulanan dan Tahunan
5. Data Penyebab Gangguan
6. Data Kinerja Tahunan ULP Grati
7. SLD Penyulang Nguling
8. Data Peralatan Proteksi Terpasang

A. Data Observasi

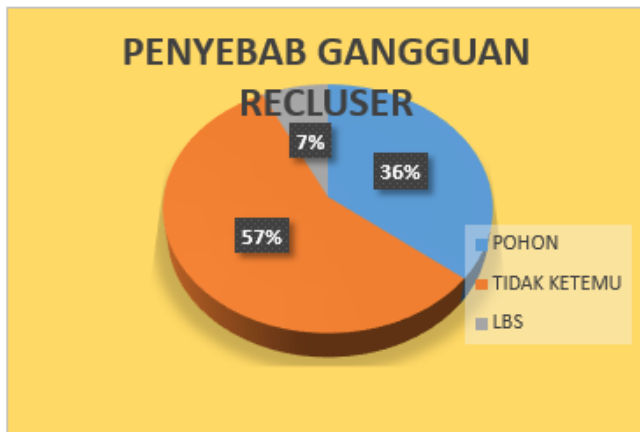
Data spesifikasi jaringan rendah berikut ini didapatkan sebagai salah satu bentuk *sample* data yang digunakan sebagai observasi penelitian.

No	KD UNIT	NAMA UNIT	KODE PENYULANG	NAMA PENYULANG	TEGANGAN (V)	PARALAN (mm2)	JENIS	BAHAN	PENAMPANG (mm2)	JUMLAH TANGKAI	STATUS REPERK. AN	KODE MLK	STATUS OPERASI	KODE OPERASI
1	2102	GRATI	GRATI	GRATI	20	0.071	AL	AL	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1
2	2102	GRATI	GRATI	GRATI	20	0.342	AL	AL	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1
3	2102	GRATI	GRATI	GRATI	20	1.187	AL	AL	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1
4	2102	GRATI	GRATI	GRATI	20	17.702	AL	AL	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1
5	2102	GRATI	GRATI	GRATI	20	12.759	AL	AL	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1
6	2102	GRATI	GRATI	GRATI	20	0.342	AL	AL	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1
7	2102	GRATI	GRATI	GRATI	20	3.733	AL	AL	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1
8	2102	GRATI	GRATI	GRATI	20	0.155	AL	AL	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1
9	2102	GRATI	GRATI	GRATI	20	18.202	AL	AL	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1
10	2102	GRATI	GRATI	GRATI	20	0.342	AL	AL	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1

Gambar 1 Data Spesifikasi Jaringan Tegangan Rendah

No	KD UNIT	NAMA UNIT	NAMA PENYULANG	TEGANGAN (KV)	PARALAN (mm2)	JENIS	BAHAN	PENAMPANG (mm2)	JUMLAH TANGKAI	STATUS REPERK. AN	KODE MLK	STATUS OPERASI	KODE OPERASI
1	2102	GRATI	GRATI	20	0.718	SKTM	ALPE	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1
2	2102	GRATI	GRATI	20	18.077	SKTM	ALPE	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1
3	2102	GRATI	GRATI	20	25.273	SKTM	ALPE	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1
4	2102	GRATI	GRATI	20	7.281	SKTM	ALPE	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1
5	2102	GRATI	GRATI	20	1.248	SKTM	ALPE	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1
6	2102	GRATI	GRATI	20	1.257	SKTM	ALPE	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1
7	2102	GRATI	GRATI	20	8.007	SKTM	ALPE	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1
8	2102	GRATI	GRATI	20	22.593	SKTM	ALPE	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1
9	2102	GRATI	GRATI	20	0.03	SKTM	ALPE	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1
10	2102	GRATI	GRATI	20	25.855	SKTM	ALPE	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1
11	2102	GRATI	GRATI	20	7.184	SKTM	ALPE	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1
12	2102	GRATI	GRATI	20	0.002	SKTM	ALPE	36240	1111	PLN	1	OPERASI	1

Gambar 2 Data Spesifikasi Jaringan Tegangan Menengah



Gambar 3 Penyebab Kegagalan Recloser

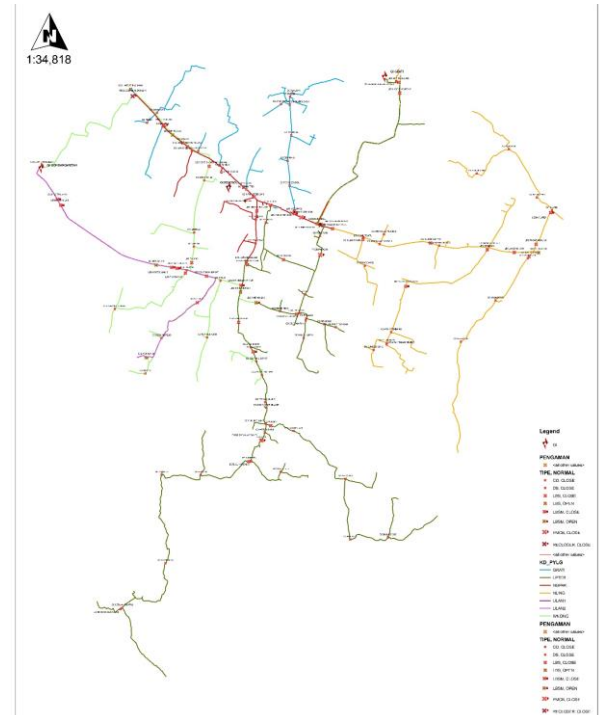


Gambar 4 Relay Gangguan Recloser

Adapun data rekapitulasi ULP Grati yang didapatkan pada Penyulang Nguling tahun 2021, sebagai berikut:

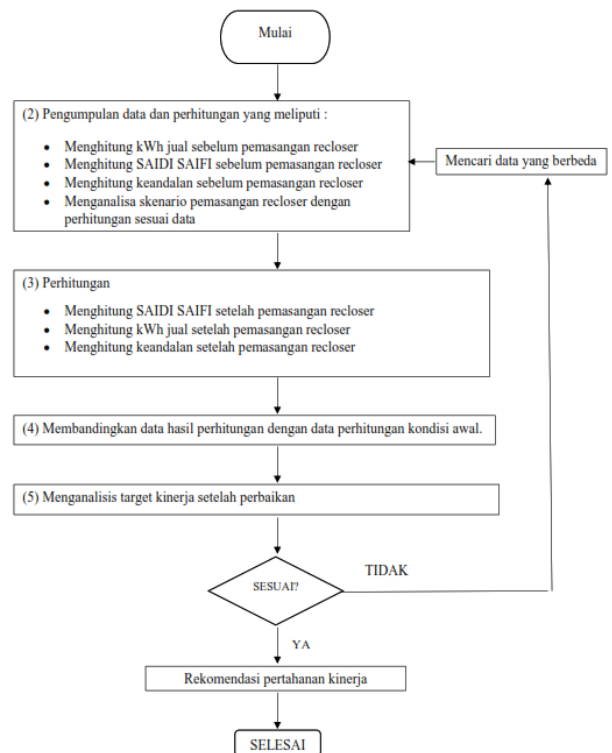
PLN	TANGGAL LENGKAP	isi tanggal	GI	Rayon	TRIP	Nama	Nama Recloser
LN	tanggal	dd mm yyyy	GARDU INDI	RAYON	PMT-RECL/PMC	PENYULANG	RECLUSER
PSR	02 Februari 2021	02 Feb 2021	Grati	Grati	RECL-PMCB	Nguling	Prokimal
PSR	06 Februari 2021	06 Feb 2021	Grati	Grati	RECL-PMCB	Nguling	Prokimal
PSR	09 Februari 2021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

Gambar 5 Data Rekap ULP Grati



Gambar 6 Single Line Penyulang Nguling

B. Flowchart Penelitian



Gambar 7 Flowchart Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum

Sembilan Unit Layanan Pelanggan (ULP) UP2

Pasuruan memiliki 7 penyulang yaitu Grati, Lapter, Ngopak, Nguling, Umbulan 1, Umbulan 2, dan Winongan dengan panjang jarring 307,2 kms. Salah satu penyulang yang dibahas atau menjadi fokus penelitian adalah Penyulang Nguling. Penyulang Nguling merupakan salah satu distribusi energi listrik ke beban dengan konfigurasi tipe radial. Selain memiliki konfigurasi tipe radial, Nguling juga merupakan salah satu penyulang terpanjang di ULP Grati yakni mencapai 65,37 kms dan jumlah pelanggan sebanyak 24.333.

B. Karakteristik Penyulang Nguling

Adapun karakteristik dari Penyulang Nguling didefinisikan sebagai berikut:

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

C. Proses Analisis

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

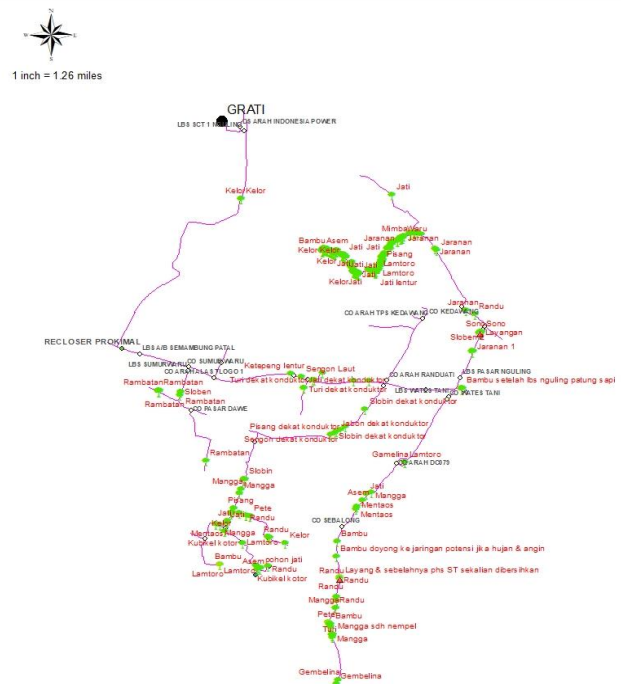
No	No. Gangguan TM	Dibuat Oleh	Typo Issue	Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan	Pemanggilan TM	Tanggal	Permasalahan	Status	Durasi	
1	J512012200031	S5350, HANDE	Terdapat layang2 yang rusak SUTM di ca randu di di desa randu ati	UP3 PASURUAN		Ngaling	22/12/2020 16:40	RECIOSER PROMKAL TRIP OCR PHASA ST	SELESAI	0 00:30:00
2	J5120121900034	S5350, HANDE	Belum diletakkan	UP3 PASURUAN		Ngaling	19/12/2020 12:47	RECIOSER PROMKAL TRIP	SELESAI	0 00:30:00
3	J5120120800068	S5350, HANDE	Terdapat Ranting sono mengenal jangan di Desa Sedurum	UP3 PASURUAN		Ngaling	8/12/2020 10:23	RECIOSER PROMKAL TRIP	SELESAI	0 01:21:00
4	J5120113000064	S5350, HANDE	OLI BOCOR	UP3 PASURUAN		Ngaling	9/11/2020 3:30	OLI BOCOR DAN HAGSI PENGUKURAN TAVAMAN ISOLASI ZERO SEMUA	SELESAI	0 01:00:00
5	J5120112400042	S5350, HANDE	Terdapat layang2 yang rusak jangan SUTM di ATAH ARE Pasar ngaling desa ngaling	UP3 PASURUAN		Ngaling	24/11/2020 19:40	RECIOSER PROMKAL TRIP	SELESAI	0 00:54:00
6	J5120112300020	S5350, HANDE	Belum diletakkan	UP3 PASURUAN		Ngaling	23/11/2020 11:55	Relay OCR phase ST	SELESAI	0 01:05:00
7	J5120111300035	S5350, HANDE	layang2 mengenal jangan di desa randu ati	UP3 PASURUAN		Ngaling	13/11/2020 16:48	Recioser Promkal Trip OCR	SELESAI	0 01:00:00
8	J5120102500022	S5350, HANDE	kedapatan orang main layang2 mengenal jam ngan di desa wadon tani	UP3 PASURUAN		Ngaling	25/10/2020 15:11	RECIOSER PROMKAL TRIP	SELESAI	0 01:40:00
9	J5120102100057	S5350, HANDE	Terdapat layang2 yang rusak jangan di desan kondat ngaling	UP3 PASURUAN		Ngaling	21/10/2020 20:58	Relay OCR	SELESAI	0 00:42:00
10	J5120101800096	S5350, HANDE	Terdapat layang2 mengenal jangan di desa cukur	UP3 PASURUAN		Ngaling	18/10/2020 15:23	Relay OCR	SELESAI	0 00:45:00

Gambar 8 Sampel Data Gangguan Penyulang Nguling

Berdasarkan data gangguan dari Januari 2023 – Desember 2023 didapatkan gangguan trip Recloser sebanyak 23 kali, 11 kali di Section 4-5, dan sisanya tidak diketemukan penyebabnya. Namun, indikasi

mengarah pada Section 4-5 karena berdasarkan data temuan inspeksi, daerah di Section 4-5 rawan gangguan yang diakibatkan oleh hewan (tokek, burung dara, ular), maupun pepohonan. Durasi gangguan total adalah 22,8 jam dengan masing masing 18,15 jam LWBP dan 4,65 jam WBP

Gangguan lainnya OCR yang bersumber dari layang-layang, ranting pepohonan, dan belum ditemukan penyebabnya. Sedangkan berdasarkan *relay* yang terbaca beserta penyebab gangguannya, potensi terjadi gangguan masih sangat tinggi walaupun kinerja *Right of Way* (ROW) sudah sesuai dengan target. Peta sebaran titik gangguan dan daerah rawan diilustrasikan seperti pada gambar di bawah.



Gambar 9 Peta Rawan Gangguan Penyulang Nguling.

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

D. Penempatan Recloser Sebelum Perbaikan

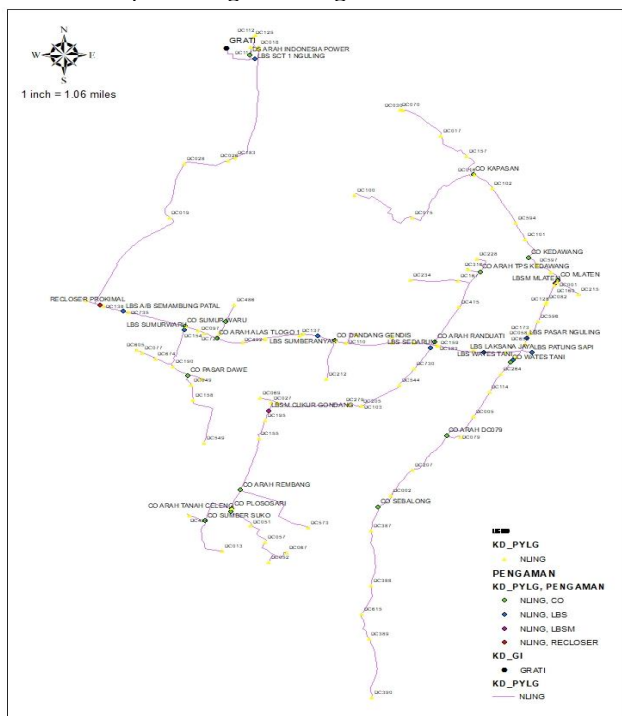
1. Penempatan recloser di Penyulang Nguling

Berdasarkan data di lapangan dan *single line* diagram, penempatan dilakukan setelah *section 2*. Dalam hal ini *recloser* digunakan untuk melindungi dua *section*, yakni 1 dan 2. Total trafo pada setiap *section* adalah 97 dengan 24.333 pelanggan.

Diagram of the water supply network for the LBS Section 1 Nguling Recloser. The diagram shows a main line with a recloser (black circle) and a transformer (black triangle). The main line branches into several smaller lines, each serving a different area. The areas are labeled with their respective water supply codes (DC) and the names of the water supply companies (LBS). The areas are: LBS SECTION 1 NGULING, RECLUSER PROXIMAL, LBS SUMBERANYAR, LBS LAKSANA JAYA, and LBS PATUNG SAPI.

Area	Water Supply Codes (DC)
LBS SECTION 1 NGULING	DC112, DC117, DC125
RECLUSER PROXIMAL	DC018, DC019, DC026, DC028, DC090, DC083, DC158, DC182, DC190, DC185, DC413, DC486, DC492, DC489, DC065, DC673, DC574, DC723
LBS SUMBERANYAR	DC049, DC071, DC077, DC097, DC137, DC138, DC154, DC158, DC182, DC190, DC185, DC413, DC486, DC492, DC489, DC065, DC673, DC574, DC723
LBS LAKSANA JAYA	DC001, DC002, DC005, DC010, DC016, DC017, DC030, DC058, DC070, DC075, DC079, DC082, DC100, DC101, DC102, DC114, DC118
LBS PATUNG SAPI	DC128, DC139, DC157, DC160, DC173, DC207, DC215, DC254, DC387, DC388, DC389, DC390, DC594, DC596, DC597, DC615, DC658

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



2. Perhitungan Beban dan kWh Jual

TABEL I
N PENYULANG NGULING

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

$$kWh \text{ jual} = \sum_i [\text{Beban (kW)} \times \text{Durasi (jam)}]$$

- *Section 1*

$$kW = V.I.\cos phi$$

$$kW = 20. \left(\frac{194,67}{20} \right) . 0,85$$

$$kW = 165,47$$

Durasi jam dalam 1 tahun = 6.935 jam, sehingga:

$$kWh = 165,47 \text{ kW} \times 6.935 \text{ h}$$

$$kWh = 1.147.531$$

- *Section 2*

$$kW = V.I.\cos phi$$

$$kW = 20. \left(\frac{110.755}{20} \right) . 0,85$$

$$kW = 94,142$$

Durasi jam dalam 1 tahun = 6.935 jam, sehingga:

$$kWh = 94,142 \text{ kW} \times 6.935 \text{ h}$$

$$kWh = 652.873$$

- *Section 3*

$$kW = V.I.\cos phi$$

$$kW = 20. \left(\frac{1.188,006}{20} \right) \cdot 0,85$$

$$kW = 1.009,8$$

Durasi jam dalam 1 tahun = 6.935 jam, sehingga:

$$kWh = 1.009,8 \text{ kW} \times 6.935 \text{ h}$$

$$kWh = 7.002.998$$

- *Section 4*

$$kW = V.I.\cos phi$$

$$kW = 20. \left(\frac{1.290,22}{20} \right) \cdot 0,85$$

$$kW = 1.096,687$$

Durasi jam dalam 1 tahun = 6.935 jam, sehingga:

$$kWh = 1.096,687 \text{ kW} \times 6.935 \text{ h}$$

$$kWh = 7.605.524$$

- *Section 5*

$$kW = V.I.\cos phi$$

$$kW = 20. \left(\frac{1.501,86}{20} \right) \cdot 0,85$$

$$kW = 1.281,681$$

Durasi jam dalam 1 tahun = 6.935 jam, sehingga:

$$kWh = 1.281,681 \text{ kW} \times 6.935 \text{ h}$$

$$kWh = 8.888,457$$

Total kWh jual LWBP dalam satu tahun dengan durasi jam 6.935 jam adalah:

$$kWh_{(selama\ 1\ th-durasi\ 19\ jam)} = 25.297.383$$

Total kWh jual LWBP dalam satu tahun dengan durasi jam 1.825 jam adalah:

$$kWh_{(selama\ 1\ th-durasi\ 5\ jam)} = 10.332.379,798$$

3. Perhitungan SAIDI SAIFI Transline Penyulang Nguling

TABEL II
PERHITUNGAN SAIFI

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

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

- PMT dalam satu penyulang totalnya satu. Maka memiliki nilai komponen unit = 1.
- SUTM 1 adalah Panjang kawat penghantar dari GI (TM11) sampai dengan Recloser Prokimal. Panjang Saluran sepanjang 1,5 kms.
- SUTM 2 adalah Panjang kawat penghantar dari Outgoing Recloser Prokimal sampai dengan ujung transline. Panjang Saluran sepanjang 29,24 kms.
- Recloser dalam satu penyulang totalnya satu. Maka memiliki nilai komponen unit = 1.
- Trafo distribusi pada transline berjumlah 52 unit, maka nilai komponen unitnya = 52.
- Rel TR nilainya sama dengan Trafo (SPLN 59 1985).

TABEL III
TABEL SAIDI

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

Nilai frekuensi padam pada Tabel 3. SAIDI diperoleh melalui: $Fi = (Xi \cdot Ci) \cdot Lamdai$

Nilai X_i merujuk pada komponen unit, sedangkan C_i merujuk pada PU Sistem, dan lamdai merupakan angka

keluar yang terdapat pada tabel SPLN 59 1985.

TABEL IV
WAKTU OPERASI KERJA

Operasi kerja	Waktu/jam
A. Menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan ke G.I	0.5
A. menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan ke alat penutup kembali	1.0
B. Waktu yang dibutuhkan untuk sampai dari satu gardu ke gardu berikutnya	0.16
B. Waktu yang dibutuhkan untuk sampai dari satu gardu ke gardu berikutnya untuk sistem spot network	0.2
C. Waktu yang dibutuhkan untuk memeriksa indikator gangguan (hanya untuk sistem spindle)	0.083
D. Waktu yang dibutuhkan untuk membuka/menutup pemutus tenaga atau penutup kembali	0.25
E. Waktu yang dibutuhkan untuk membuka/menutup sakelar beban atau saklar pisah	0.15
F. Waktu yang diberikan untuk memperbaiki kawat penghantar udara	3
G. Waktu yang dibutuhkan untuk mencari lokasi gangguan pada kabel bawah tanah	5
H. Waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kabel saluran bawah tanah	10
I. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti/memperbaiki pemutus tenaga, sakelar beban, penutup kembali atau sakelar pisah	10
J. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti penyambung kabel (bulusan) untuk kabel yang berisolasi kertas	15
K. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti trafo distribusi	10
L. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti pelindung jaringan	10
M. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti/memperbaiki bus tegangan rendah	10

4. Analisis Section Padam Ketika Terjadi Gangguan Trip Recloser

Dikarenakan pada saat peletakan recloser Penyulang Nguling hanya dapat menyelamatkan section 1 dan 2, maka selain section tersebut didapatkan titik gangguan dan daerah rawan gangguan pada section 4 dan 5.

5. Analisis kWh Jual Ketika Terjadi Gangguan Trip Recloser

Berdasarkan data gangguan durasi lama padam

pelanggan Penyulang Nguling tahun 2020 terjadi pemadaman sebesar 22.8 jam. Dalam hal ini perlu diketahui nilai kWh jual yang tidak tersalurkan pada tahun 2020 dengan menggunakan rumus berikut:

kWh tidak tersalurkan

$$= (kW \text{ section 3} + kW \text{ section 4} + kW \text{ section 5}) \cdot t_{(\text{durasi padam})}$$

kWh tidak tersalurkan LWBP

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

$$= 61.495,2492 \text{ kWh dalam 1 tahun}$$

kWh tidak tersalurkan WBP

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

$$= 23.716,35 \text{ kWh dalam 1 tahun}$$

Total kWh tidak tersalurkan

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

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

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

6. Analisis Target Minimum SAIDI SAIFI

Proses analisis dilakukan dengan SPLN 59 1985 dan SPLN 68-2 1986 sebagai acuan perhitungan target minimum.

TABEL V
TARGET SAIDI SAIFI (SPLN 68-1986)

TARGET SAIDI SAIFI BERDASARKAN SPLN 68-2: 1986	
SAIDI	21.09 JAM/PLG
SAIFI	3.2 KALI/PLG

TABEL VI
TARGET SAIDI SAIFI PENYULANG NGULING

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

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

TABEL VII
NILAI SAIDI SAIFI PENYULANG NGULING

NILAI SAIDI SAIFI P. NGULING TAHUN 2023	
SAIDI	21.77 JAM/PLG
SAIFI	21.9 KALI/PLG

Perolehan nilai SAIDI SAIFI belum sesuai pada tahun 2023 belum sesuai dengan target sehingga perlu memaksimalkan pelanggan dari pemadaman salah satunya dengan menambah proteksi section di rawan gangguan.

E. Data Peralatan

Adapun beberapa peralatan yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah sebagai berikut:

TABEL VIII
DATA TRAFO I GI GRATI

Merk	UNINDO
Standarisasi	IEC 76
No. Seri	P60LEC303-01
Kapasitas Daya	42/60 MVA
Tegangan Sistem	150/20 kV
Impedansi (Z%)	12.04%
Arus Nominal	1732.1 A
Hubungan Belitan	Yyn0(d1)
Ground Resistor	14 ohm

TABEL IX
DATA RELAY OCR DAN GFR INCOMING 150kV

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

TABEL X
DATA RELAY OCR DAN GFR OUTGOING 20kV

Merk	MERLIN GERIN
Type	SEPAM 1000
Karakteristik	Standard Inverse
Frekuensi	50 Hz
Media PMT	VACCUM
Merk CT	TRAFINDO
Class CT	3
Rasio CT	400/5 A
Z CT	200/5

TABEL XI
DATA RELAY RECLOSER PROKIMAL DAN RECLOSER BARU

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

TABEL XII
DATA PENYULANG NGULING 20kV DENGAN SKTM

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

TABEL XIII
DATA PENYULANG NGULING 20kV DENGAN SUTM

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

F. Perhitungan Setting Recloser

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

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

V per unit (PU) diperoleh:

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

dengan nilai Z_{base} :

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

sehingga diperoleh I_{base} :

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

Perhitungan selanjutnya adalah menentukan impedansi sumber pada sisi 20 kV dengan menggunakan:

$$\begin{aligned} Z_{lama} &= j \frac{kV^2}{\text{MVA}_{hs}} \\ &= j \frac{150^2}{9239,54} \\ &= j 2.43 \Omega \end{aligned}$$

Karena trafo mempunyai hubungan Ynyn0 yang tidak mempunyai hubungan delta di dalamnya, maka besarnya X_{t0} berkisar antara 9 sampai 14 dikali X_t . Dalam perhitungan ini diambil nilai X_{t0} kurang lebih 11. Jadi $X_{t0} = 11 \times 0.802 = 8.82 \text{ ohm}$.

TABEL XIV

TABEL Z SALURAN POSITIF DAN NEGATIF

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

TABEL XV

TABEL IMPEDANSI PENYULANG (Z1 DAN Z2)

Letak	Impedansi Penyulang (Z1 dan Z2)
GI	0.5923 + j 1.12044
Recloser Prokimal	0.8565 + j 1.4009
Recloser Baru	1.6935 + j 2.65

TABEL XVI

TABEL IMPEDANSI PENYULANG (Z0)

Letak	Impedansi Penyulang (Z0)
GI – Recloser Prokimal	0.9305 + j 1.7594
GI – Recloser Baru	4.72102 + j 6.9297
GI – Ujung	7.7566 + j 12.1314

Berdasarkan data pada tabel di atas dapat digunakan untuk menentukan nilai Arus Hubung Singkat dengan menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned} I_{3fasa} &= \frac{v}{Z_1} \\ I_{2fasa} &= \frac{vph}{(Z_1 + Z_2)}, \\ I_{1fasa tanah} &= \frac{3.V}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \end{aligned}$$

Berikut merupakan tabel perolehan perhitungan:

TABEL XVII
PERBANDINGAN NILAI ARUS HUBUNG SINGKAT

Jenis Recloser	I 3fasa	I 2fasa	I 1fasa tanah
GI	1.789 <- 56.61° A	0.68 <- 56.61° A	0.93 <- 56.61° A
Recloser Prokimal	0.609 <- 63.44° A	0.527 <- 63.44° A	0.285 <- 63.44° A
Recloser Baru	0.318 <- 65.12° A	0.275 <- 65.12° A	0.145 <- 65.12° A

G. Perhitungan Setting OCR, GFR

Perhitungan OCR difungsikan untuk mengetahui nilai relay dengan menggunakan *standard inverse*.

CT = 400/5

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

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

Berikut merupakan table perbandingan *setting relay OCR*:

TABEL XVIII
SETTING RELAY OCR

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

TABEL XIX
SETTING RELAY GFR (FASA-TANAH)

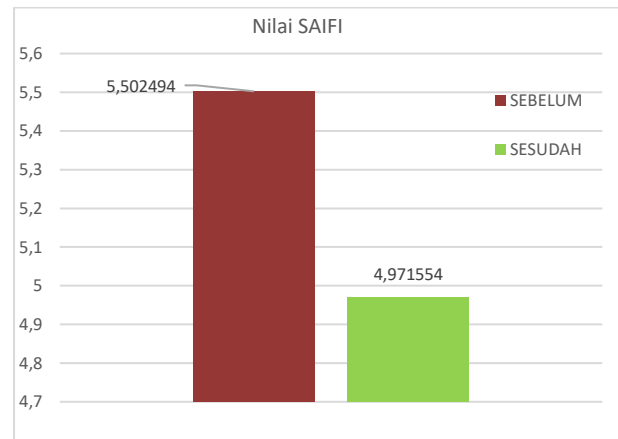
GFR	PMT	RECLOSER PROKIMAL	RECLOSER BARU
I set primer	128.8	49.4	30.24
I set sekunder	1.6	0.6175	0.378
T (detik)	1.7	1	0.5

H. Perhitungan SAIFI SAIDI setelah Pemasangan Recloser

Setelah menentukan skenario penempatan *recloser*, berikut adalah hasil perhitungan SAIFI SAIDI:

TABEL XX
PERHITUNGAN SAIFI SETELAH PEMASANGAN RECLOSER

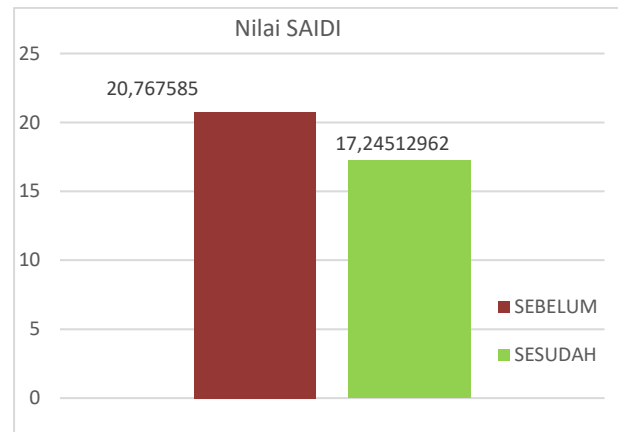
Nilai SAIFI				
Transline				
Jenis Komponen	Komponen Unit	Angka Keluar	PU sistem	Frekuensi Padam
	Xi	Lamda i	Ci	fi
PMT	1	0.004	1	0.004
SKTM	0.7	0.07	1	0.049
SUTM 1	9.32	0.2	1	1.864
SUTM 2	7.47	0.2	0.954876	1.42658
SUTM 3	11.447	0.2	0.705092	1.61423
Recloser	2	0.005	1	0.01
Trafo	52	0.005	0.012	0.00312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



Gambar 12 Grafik Nilai SAIFI sebelum - sesudah

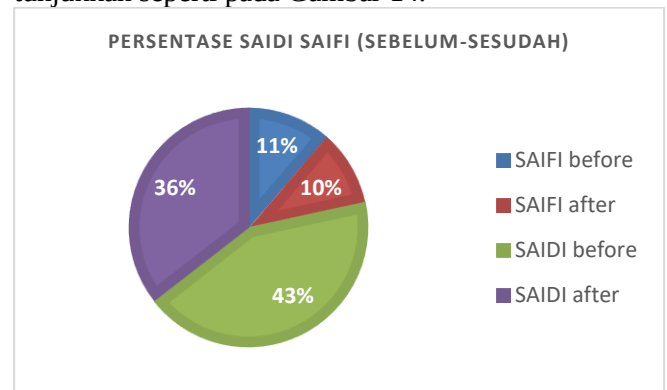
TABEL XXI
PERHITUNGAN SAIDI SETELAH PEMASANGAN RECLOSER

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



Gambar 13 Grafik Nilai SAIDI sebelum – sesudah

Jika digambarkan dalam persentase, maka nilai atau indeks SAIDI SAIFI sebelum dan sesudah akan ditunjukkan seperti pada Gambar 14.



Gambar 14 Persentase Nilai SAIDI SAIFI sebelum – sesudah

Selain peningkatan perbaikan pada nilai SAIFI SAIDI, jumlah pelanggan awal Penyulang Nguling dengan setelah perbaikan pemasangan *recloser* dapat dilihat pada tabel berikut:

TABEL XXIII
DATA AWAL KWH JUAL PENYULANG NGULING

Kondisi Awal			
Section	Jumlah Pelanggan Aman	kWh Terselamatkan WBP	LWBP
1	630	83.70	159.81
2	468	75.39	459.22
TOTAL	1098	159.09	619.03

Sehingga, diperoleh nilai perbandingan hasil perhitungan dengan target pada table berikut:

TABEL XXII
SAIDI SAIFI SETELAH PEMASANGAN

TARGET SAIDI SAIFI BERDASARKAN PERHITUNGAN IDEAL P. NGULING (SETELAH DIPASANG RECLOSER BARU)

SAIDI	17.2 JAM/PLG
SAIFI	4.9 KALI/PLG

Jika nilai tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik, maka dapat dilihat seperti pada gambar di bawah.

TABEL XXIV
DATA PERHITUNGAN KWH JUAL SETELAH PEMASANGAN RECLOSER

Kondisi Setelah Pemasangan			
Section	Jumlah Pelanggan Aman	kWh Terselamatkan WBP	LWBP
1	630	594.75	1147.53
2	468	429.60	652.87
3	5200	2591.29	7003.00
Sebagian pelanggan section 4 (DC091, DC110, DC120, DC136, DC212, DC384)	878	581.26	1793.29
TOTAL	7176	4196.91	10596.69

V. KESIMPULAN

1. Dari data gangguan Penyulang Nguling yang ada di ULP Grati, selama periode tahun 2023-2024 bulan Maret terjadi gangguan sebanyak 24 kali yang menyebabkan *Recloser* Prokimal sebagai pembatas di Zona 1 lepas sehingga pelanggan di section berikutnya turut padam. Hal ini menyebabkan penyaluran energi dan kontinuitas penyaluran tenaga listrik terganggu.
2. Melakukan peningkatan keandalan Penyulang Nguling dengan penambahan *Recloser* Baru pada pecahan section 4 dan 5, sehingga *Recloser* tersebut mampu mengamankan pelanggan di Section 1 sampai 3 dan sebagian pelanggan di section 4.
3. Sebelum melakukan penambahan *recloser* persentase SAIDI adalah sebesar 43%, sedangkan setelah dilakukan penambahan dan perbaikan *recloser* persentase SAIDI turun sebesar 36%. Begitupun dengan persentase SAIFI sebelum pemasangan menunjukkan 11%, sedangkan SAIFI setelah pemasangan mendapatkan persentase sebesar 10%. Berdasarkan fungsi SAIDI SAIFI yang digunakan sebagai indikator Tingkat keandalan sistem, maka semakin kecil nilai SAIDI SAIFI menggambarkan semakin tinggi keandalan dari sistem kelistrikan tersebut. Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan *recloser* yang tepat dapat meningkatkan nilai atau indeks keandalan sistem kelistrikan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Silaban, “Studi Tentang Penggunaan Recloser pada Sistem Jaringan Distribusi 20 KV,” Universitas Sumatera Utara, 2009.

[2] H. Nurona, P. E. Pambudi, dan S. Syafriyudin, “Analisa Koordinasi Proteksi Recloser Dengan Relay Arus Lebih (Ocr) Menggunakan Etap 7.0.0 Di Jaringan Sutm 20 Kv Pt Pln (Persero) Apj

Yogyakarta,” *Jurnal Elektrikal*, vol. 1, no. 1, hal. 47–57, 2019.

[3] R. P. Simanjuntak, S. Syafriyudin, dan B. Fir-man, “Analisis Keandalan Penempatan Recloser Dan Besar Arus Hubung Singkat di Pt. Pln (Persero) Distribusi Area Yogyakarta,” *Jurnal Elektrikal*, vol. 4, no. 1, hal. 40–47, 2017.

[4] A. Van Anugrah, H. Eteruddin, dan A. Arlenny, “Studi Pemasangan Express Feeder Jaringan Distribusi 20 kV Untuk Mengatasi Drop Tegangan Pada Feeder Sorek PT PLN (Persero) Rayon Pangkalan Kerinci,” *Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri (SainETIn)*, vol. 4, no. 2, hal. 65–71, 2020.

[5] M. R. Sanaky, “Peningkatan Indeks Keandalan dengan Penambahan Recloser pada Sistem Distribusi di PLTD Subaim Menggunakan Metode Section Technique,” Institut Teknologi Nasional Malang, 2017.

[6] P. N. Utami, Y. A. Volta, dan M. H. Fatin, “Simulasi Koordinasi Proteksi Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Etap,” *Jurnal Teknik Elektromedik Polbitrada*, vol. 5, no. 1, hal. 25–35, 2024.

[7] C. D. Prakosa, “Analisis Setting Proteksi OCR dan GFR Feeder Kpk-14,” Universitas Semarang, 2021.