

Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20kV Pada Penyulang Pujon PT. PLN (PERSERO) ULP Batu

Wijaya Kusuma^{*a)}, Ruwah Joto^{a)}, Mochammad Mieftah^{a)}

(Artikel diterima: September 2022, direvisi: Oktober 2022)

Abstract: At PT. PLN (Persero) ULP Batu, Pujon feeder is one of the 9 feeders in the distribution system that supplies several areas in PT. PLN (Persero) ULP Batu. At the Pujon feeder, the number of disturbances that occurred from January to November 2021 occurred twenty-two times, with details of eighteen temporary disturbances and four permanent disturbances. The number of disturbances that often occur can affect the feeder who is working normally. This can cause voltage drops and power losses, causing the flow of electric power to be less than optimal and detrimental to customers or consumers. Because it requires maneuvering so that the disturbance does not spread to all feeders and cause one feeder to experience a blackout. Based on the problems that occur, maneuver analysis is needed to reduce the impact of disturbances on the Pujon feeder and to maintain the reliability value of the distribution system at PT. PLN (Persero) ULP BATU.

Keywords: Maneuver, Drop voltage, Losess, SAIDI, SAIFI, Distribution System

1. Pendahuluan

PT. PLN (Persero) memiliki banyak gangguan atau permasalahan dalam menyalurkan serta menjaga kualitas energi listrik secara berkelanjutan di Indonesia. Pada kondisi di lapangan, dalam pelaksanaan penyaluran atau pendistribusian energi listrik sering dijumpai berbagai permasalahan, sebagai contoh salah satunya yaitu adanya gangguan yang disebabkan oleh masalah internal maupun external dari sistem. Dari macam-macam gangguan tersebut, tidak sedikit yang dapat menyebabkan pemadaman listrik. Salah satu kendala yang muncul adalah adanya susut daya dan rugi – rugi daya pada saluran transmisi dan distribusi, sehingga menyebabkan adanya energi yang tidak tersalurkan ke pelanggan dan tentu saja merugikan bagi pelanggan.[1]

Menurut buku SPLN 72:1987 mengenai pengaturan tegangan dan jatuh tegangan dinyatakan jika besarnya turun tegangan pada JTM yang diperbolehkan adalah 2% dari tegangan kerja dengan sistem yang tidak memanfaatkan STB, yaitu *spindle* dan gugus serta 5% dari tegangan kerja bagi sistem yang memanfaatkan STB, yaitu sistem radial diatas tanah dan sistem simpul.[2]

PT. PLN (Persero) ULP Batu, disuplai dari satu GI, yaitu Gardu Induk Sengkaling trafo 3 dan 4 serta memiliki 9 penyulang, diantaranya penyulang Batu, Junrejo, Panorama, Predator, Pujon, Selecta, Wastra Indah, Ngantang, Sidodadi. Diantara semua penyulang, terdapat satu penyulang yang sering mengalami pemadaman listrik akibat gangguan, yaitu Penyulang Pujon. Pada penyulang Pujon sendiri mulai Januari hingga November 2021 telah terjadi sebanyak 22 kali gangguan dengan rincian 18 kali gangguan temporer dan 4 kali gangguan permanen, serta gangguan permanen dengan durasi pemadaman paling lama terjadi pada *section 7* dan *section 10*, sehingga dilakukannya kegiatan manuver untuk meminimalisir pemadaman atau gangguan dan menjaga keandalan sistem penyulang agar terjaga dengan baik. Dari jumlah tersebut dapat diketahui bahwa penyulang Pujon menjadi penyulang yang sering mengalami pemadaman di PT. PLN (Persero) ULP Batu. Pada penyulang Pujon, beban yang terpasang 22.646 untuk

pelanggan 1 fasa dan 189 untuk pelanggan 3 fasa dengan total pelanggan 22.835 pelanggan.

Indeks keandalan merupakan suatu metode pengevaluasian parameter keandalan suatu peralatan distribusi tenaga listrik terhadap keandalan mutu pelayanan kepada pelanggan. Indeks ini antara lain adalah SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*). [3]

Menurut SPLN 68-2 : 1986, menetapkan sistem dalam kondisi baik jika telah memenuhi standar SAIFI : 1,2 kali/pelanggan/tahun dan SAIDI : 0,83 jam/pelanggan/tahun. Sedangkan standart menurut IEEE P1366-2003, nilai indeks keandalan suatu sistem dikatakan baik jika telah memenuhi standar SAIFI : 1,45 kali/pelanggan/tahun dan SAIDI : 2,3 jam/pelanggan/tahun [4].

Agar lebih mudah dalam mengetahui nilai keandalan penyulang Pujon maka digunakan bantuan *software* ETAP. ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*single line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain : aliran daya, hubung singkat, starting motor, transient stability, koordinasi relay proteksi, sistem harmonisa dan lain sebagainya [5].

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan penyaluran energi listrik dari gardu induk ke konsumen. Terdapat 2 (dua) sistem distribusi yaitu distribusi primer dan distribusi sekunder.

Distribusi primer, penyalurannya dimulai dari gardu induk (sisi sekunder trafo daya) ke gardu distribusi (sisi primer trafo distribusi) atau dari gardu induk langsung ke konsumen tegangan menengah 20 kV. Dimana tegangan tinggi terlebih dahulu diturunkan menjadi tegangan menengah sebesar 20 kV melalui transformator step down. Distribusi sekunder, penyalurannya dimulai dari gardu distribusi (sisi sekunder trafo distribusi) ke konsumen tegangan rendah.

* Korespondensi: wijayakusuma@polinema.ac.id

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

2.2 Pemutus

Berfungsi sebagai pemisah atau penghubung instalasi listrik 20 kV. Pemisah hanya dapat dioperasikan dalam keadaan tidak berbeban. [6]

2.3 Pemisah

Circuit Breaker (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar/*switching* mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam kondisi abnormal/gangguan seperti kondisi hubung singkat (*short circuit*).

2.4 Kualitas Daya Listrik

Ada 2 (dua) hal yang menjadi ukuran mutu listrik yaitu tegangan dan frekuensi. Tegangan pelayanan ditentukan oleh :

- a. Batasan toleransi tegangan, pada konsumen TM adalah ±5 % , sedangkan pada konsumen TR maksimum + 5 % dan minimum 10 %.
- b. Keseimbangan tegangan pada setiap titik sambungan. 14
- c. Kedip akibat pembebanan sekecil mungkin.
- d. Hilang tegangan sejenak akibat manuver secepat mungkin. Sedangkan untuk frekuensi batasan yang diijinkan adalah batas toleransi frekuensi adalah ±1 % dari frekuensi standar 50 Hz. [7]

2.5 Jenis Gangguan Jaringan Distribusi

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

2.6 SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

Indeks keandalan yang merupakan jumlah dari perkalian frekuensi padam dan panjang padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. Dengan indeks ini gambaran mengenai frekuensi kegagalan rata-rata yang terjadi pada bagian-bagian dari sistem biasa dievaluasi sehingga dapat dikelompokkan sesuai dengan tingkat keandalannya. Satuannya adalah pemadaman per pelanggan. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$f = \frac{\sum_{i=1}^m Ci x li}{N \text{ tahun}} \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana :

- li = Pemadaman / Gangguan
- m = Jumlah pemadaman dalam satu tahun
- Ci = Jumlah konsumen yang mengalami pemadaman
- N = Jumlah konsumen yang dilayani. [8]

2.7 SAIDI (System Average Interruption Duration Index)

Indeks keandalan yang merupakan perkalian dari lamanya suatu sistem padam dalam hitungan jam dengan banyaknya pelanggan yang mengalami pemadaman dibagi dengan jumlah pelanggan keseluruhan. Satuan perhitungannya SAIDI adalah jam/pelanggan. Dengan indeks ini,

gambaran mengenai lama pemadaman rata-rata yang diakibatkan oleh gangguan pada bagian-bagian dari sistem dapat dievaluasi. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$d = \frac{\sum_{i=1}^m Ci x ti}{N \text{ tahun}} \dots\dots\dots (2-2)$$

Dimana:

- m = Jumlah pemadaman dalam satu tahun
- ti = lamanya tiap-tiap pemadaman
- Ci = Jumlah konsumen yang mengalami pemadaman
- N = Jumlah konsumen yang dilayani. [8]

2.8 Standar Keandalan Sistem Distribusi 20 kV

Untuk mengukur tingkat keandalan suatu sistem distribusi maka diperlukan nilai acuan sehingga dapat menilai sistem tersebut. Menurut SPLN 68-2 : 1986, menetapkan sistem dalam kondisi baik jika telah memenuhi standart seperti dibawah:

- SAIFI : 1,2 kali/pelanggan/tahun
- SAIDI : 0,83 jam/pelanggan/tahun

Sedangkan standart menurut IEEE P1366-2003, nilai indeks keandalan suatu sistem dikatakan baik jika telah memenuhi sebagai berikut :

- SAIFI : 1,45 kali/pelanggan/tahun
- SAIDI : 2,3 jam/pelanggan/tahun [4]

2.9 Drop Tegangan

Menurut buku SPLN 72:1987 mengenai pengaturan tegangan dan jatuh tegangan dinyatakan jika besarnya turun tegangan pada JTM yang diperbolehkan adalah 2% dari tegangan kerja dengan sistem yang tidak memanfaatkan STB, yaitu *spindle* dan gugus serta 5% dari tegangan kerja bagi sistem yang memanfaatkan STB, yaitu sistem radial diatas tanah dan

sistem simpul.

$$\Delta V (\%) = \frac{\Delta V}{V_{\text{ kirim GI}}} x 100\% \dots\dots\dots (2-3)$$

Dimana :

- ΔV (%) = Jatuh tengana (%)
- ΔV = Jatuh tegangan (V)
- V_{kirim GI} = Trgangan kirim dari GI (V) [2]

2.10 Rugi-rugi Daya (Losses)

Losses atau rugi daya adalah perbedaan antara energi listrik yang disalurkan dengan energi listrik yang terpakai. Rugi-rugi daya sebenarnya tidak dapat dihilangkan, tetapi dapat diminimalkan.

$$\%P_{\text{loss}} = \frac{P_{\text{loss}}}{P} x 100\% \dots\dots\dots (2-4)$$

Dimana:

- P_{loss} = Rugi-rugi daya (W)
- P = Besar daya yang disalurkan (W)

2.11 Faktor Kebutuhan (DF= Demand Factor)

Faktor kebutuhan merupakan perbandingan antara kebutuhan maksimum (beban puncak) terhadap total daya tersambung. Jadi:

$$DF = \frac{\text{arus tertinggi} x (20kV x \sqrt{3})}{\text{total kapasitas terpasang}} \dots\dots\dots (2-5)$$

2.12 Manuver Jaringan

Manuver jaringan distribusi adalah suatu kegiatan membuat perubahan terhadap operasi normal dari jaringan akibat dari adanya gangguan atau pekerjaan jaringan lainnya yang membutuhkan pemadaman tenaga listrik, sehingga dapat mengurangi daerah pemadaman tenaga listrik agar tetap tercapai kondisi penyaluran tenaga listrik yang seefisien dan semaksimal mungkin. [9]

2.13 SOP Manuver

Standart Operational Procedure adalah ketetapan atau prosedur operasi berisi urutan atau tahapan pekerjaan yang harus dilakukan oleh petugas / tim yang berkaitan dengan operasi real time (setiap saat).

SOP dibuat berdasarkan kesepakatan dan harus dipatuhi oleh petugas atau tim dalam melaksanakan tugas, dan berfungsi:

- Agar mendapatkan hasil yang optimal,
- Menghindari terjadinya kesalahan operasi,
- Menghindari kerusakan peralatan atau instalasi dan kecelakaan kerja.

2.14 ETAP

ETAP merupakan suatu perangkat lunak (software) yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time. Fitur yang terdapat di dalamnya-pun menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. [10]

3. Metode Penelitian

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pada penelitian yang dilakukan dalam rangka penulisan tugas akhir/ skripsi dilaksanakan pada :

Waktu : 10 – 29 Desember 2022

Tempat : PT. PLN (Persero) ULP Batu, Jl. Trunojoyo, Songgokerto, Kec. Batu, Kota Batu, Jawa Timur 65312

3.2 Hasil Observasi Lapangan

a. Data Penyulang Tahun 2021

Pada kegiatan survei lapangan, memperoleh data penyulang PLN ULP Batu. Data tersebut yang ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Penyulang PLN ULP Batu Tahun 2021

No	Penyulang	Panjang Penyulang (kms)	Jumlah Pelanggan
1	BATU	25239	18881
2	JREJO	21464	7390
3	PNRMA	19324	8652
4	PRDTR	18693	5932
5	PUJON	61222	22835
6	SLCTA	62777	27038
7	WSTIN	20797	9773
8	NTNG	47084	14953
9	SDADI	19736	6991

b. Data Gangguan Padam Di Penyulang Pujon

Pada kegiatan survei lapangan, penulis memperoleh data padam pada salah satu penyulang yang ada di PLN ULP Batu yaitu Penyulang Pujon. Data tersebut yang ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Hasil Survei Gangguan Padam Penyulang Pujon Tagun 2021

No	Tanggal	Section	Jam PMT Lepas	Jam PMT Masuk	Lama Padam (menit)	Kategori	Rahai Kerja	Keterangan
1	29-Jan-21	7	19.07	19.11	4	Temporer	DGR	POHON TUMBANG MENGENAI JARINGAN DI DESA NGABAB
2	04-Feb-21	8	21.15	21.19	4	Temporer	DGR	POHON TUMBANG MENGENAI SUM DI DESA CUKAL
3	06-Feb-21	8	03.41	03.45	4	Temporer	DGR	POHON TUMBANG MENGENAI JARINGAN SUM DI DESA CUNGKAL
4	08-Feb-21	6	15.44	16.03	19	Permanen	DGR	POHON TUMBANG MENGENAI JARINGAN SUM DI DESA PUJON
5	12-Feb-21	4	13.12	13.16	4	Temporer	EF	AKTIFITAS MATRIAL BANGUNAN WARGA MENGENAI JARINGAN SUM DI DESA SONGGORITI
6	06-Mar-21	7	06.24	06.29	5	Temporer	DGR	BINATANG TUPAI DI TM 10 DS NGABAB
7	23-Mar-21	7	07.48	07.52	4	Temporer	DGR	BINATANG TUPAI MENGENAI JARINGAN SUM DI TM 2 DESA NGUMUL
8	27-Mar-21	7	11.22	11.26	4	Temporer	DGR	TERPAL MENGENAI JARINGAN KARENA ASGIN DI DS NGABAB
9	06-Apr-21	8	11.03	11.17	14	Permanen	DGR	BAMBU ROBOH MENGENAI JARINGAN DI DESA SEBALUH
10	08-Apr-21	6	17.55	17.59	4	Temporer	OCR	DAHAN POHON PATAH MENGENAI JARINGAN SUM DI DESA TRETES
11	28-Mei-21	4	06.55	06.59	4	Temporer	EF	BERSAMAAN PUTUSNYA FCO D.16 FASE T JL SONGGORITI
12	02-Jun-21	8	06.40	06.43	3	Temporer	DGR	ORANG POTONG BAMBU MENIMPA JARINGAN SUM DI DESA DADAPAN KULON
13	16-Agu-21	6	06.12	06.14	2	Temporer	DGR	ARRESTER BREAKDOWN DI DESA PUJON KIDUL
14	18-Agu-21	6	15.04	15.08	4	Temporer	DGR	ARRESTER D206 BREAKDOWN JL REJEKESI DS PANDESARI PUJON
15	13-Sep-21	7	11.10	11.14	4	Temporer	OCR	WARGA BERMALIN LAYANG-LAYANG SOWANGAN MENGENAI JARINGAN SUM DI DESA NGROTO
16	17-Sep-21	5	10.22	10.26	4	Temporer	EF	KONDUKTOR PUTUS DI DESA KLEMUK
17	30-Sep-21	8	06.17	06.20	3	Temporer	DGR	SUTM TERKENA BINATANG (MONYET) DI D.103 D2 DESA KEDUNGREJO
18	06-Okt-21	7	13.37	13.41	4	Temporer	EF	GSW MELOROT DI DESA SEMPU
19	17-Okt-21	6	06.09	06.13	4	Temporer	EF	BINATANG MONYET MENGENAI JARINGAN SUM DI HOTEL ILONA AGRO
20	22-Okt-21	7	09.49	10.11	22	Permanen	DGR	POHON BAMBUTUMBANG MENGENAI JARINGAN SUM DS MANTING
21	27-Okt-21	7	23.50	23.54	4	Temporer	EF	ARRESTER JARINGAN DI D.283 BREAKDOWN DESA DRESSEL
22	01-Nov-21	10	07.07	07.31	24	Permanen	EF	AKTIFITAS WARGA POTONG POHON MENGENAI SUM DI DESA BORAH

Sumber: (Data Aset PT. PLN (Persero) ULP Batu)

3.3 Data Jenis Dan Ukuran Penghantar Penyulang

Tabel 3. 3 Jenis dan Ukuran Penghantar Penyulang Pujon

Section	Jenis Penghantar	Panjang (ms)	KHA (A)
GI SENGKALING – LBS MOJOREJO	AAAC 3 X 150 mm ²	1131	425
LBS MOJOREJO – LBS PANGSUD	AAAC 3 X 150 mm ²	6424	425
LBS PANGSUD – REC. ARUMDALU	AAAC 3 X 150 mm ²	3038	425
REC. ARUMDALU – LBS. KLEMUK	AAAC 3 X 150 mm ²	456	425
LBS. KLEMUK – LBSM MONUMEN	AAAC 3 X 150 mm ²	2244	425
LBSM. MONUMEN – LBS NGROTO	AAAC 3 X 150 mm ²	3078	425
LBS. NGROTO – UJUNG	AAAC 3 X 150 mm ²	2356	425
REC. SEBALUH – LBSM BOYAK	AAAC 3 X 150 mm ²	11134	425
LBS. PANDEMAS – LBS. JANTUR	AAAC 3 X 150 mm ²	3566	425
CO LBS WIYUREJO - UJUNG	AAAC 3 X 150 mm ²	3257	425

Sumber: (Data Aset PT. PLN (Persero) ULP Batu)

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Gangguan Padam Di Penyulang Pujon

Berdasarkan pada tabel 3.2 yaitu tabel data gangguan pada Penyulang Pujon mulai dari bulan Januari sampai bulan November 2021 Penyulang Pujon merupakan penyulang yang mengalami gangguan paling banyak. Seperti yang terlihat pada tabel 3.2 gangguan terjadi pada bulan Januari hingga bulan November 2021 yaitu sebanyak 22 kali gangguan, dengan rincian 18 kali gangguan temporer dan 4 kali gangguan permanen. Section yang mengalami gangguan permanen dengan jangka waktu padam paling lama yaitu terjadi di section 7 dan section 10.

4.2 Perhitungan Beban Tiap Section

➤ **Penyulang Pujon**

- **Rumus Demand Factor :**

$$DF = \frac{\text{arus tertinggi} \times (20kV \times \sqrt{3})}{\text{total kapasitas terpasang}} \dots\dots\dots (2-6)$$

Diketahui :

- Arus tertinggi pada Penyulang Pujon : 113,8 A
- Total kapasitas Trafo : 8720 kVA

Besarnya nilai DF pada Penyulang Pujon :

$$DF = \frac{113,8 \times (20kV \times \sqrt{3})}{8720 \text{ kVA}}$$

$$DF = \frac{3942,14}{8720 \text{ kVA}}$$

$$DF = 0,45$$

Dari data *demand factor* atau faktor pembebanan pada penyulang Pujon, maka dapat dihitung total arus terpakai pada penyulang tersebut, yang mana dapat digunakan sebagai acuan untuk kegiatan manuver manuver untuk menghindari terjadinya beban lebih atau *overload*.

- **Rumus Beban Terpakai**

Beban Terpakai

= Total Kapasitas Trafo x Demand Factor

Tabel 4. 1 Arus Terpakai per-section Penyulang Pujon

Section	Total Kapasitas Trafo (kVA)	Demand Factor	Beban Terpakai (kVA)	Arus Maksima I (A)	Arus Terpakai (A)
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	790	0,45	355,5	22,83	10,27
4	745	0,45	335,25	21,53	9,69
5	810	0,45	364,5	23,41	10,53
6	2090	0,45	940,5	60,4	27,18
7	1270	0,45	571,5	36,71	16,52
8	2240	0,45	1008	64,74	29,13
9	310	0,45	139,5	8,96	4,03
10	985	0,45	443,25	28,47	12,81

Dapat dilihat dari tabel 4.1 yaitu hasil perhitungan untuk *demand factor*, beban terpakai, arus maksimal, dan arus terpakai untuk penyulang Pujon pada setiap section yang bertujuan untuk mencegah atau mengetahui jika terjadi *overload*.

4.3 Pertimbangan Sebelum Dilakukan Manuver

Pada penyulang Pujon gangguan permanen yang durasi padamnya lama terjadi pada section 7 dan section 10, sehingga langkah yang dilakukan untuk manuver sebagai berikut :

- Mengidentifikasi *sectionalizer* yang terdekat dengan section 7 dan section 10
- Mensimulasi *transient* yang terjadi ketika pembukaan kontak *sectionalizer*
- Jika semua telah dilakukan maka sesegera mungkin untuk melakukan pembukaan kontak *sectionalizer* pada section 7 yaitu CO Ngabab sedangkan untuk section 10 yaitu CO Borah agar gangguan tidak menyebar ke section lainnya.

4.4 Pelaksanaan Manuver

Pelaksanaan Manuver yaitu kegiatan yang bertujuan untuk mengisolir daerah gangguan agar penyaluran listrik dapat tersalurkan dengan baik serta section section yang disekitarnya tidak terdampak. Nilai KHA (Kuat Hantar Arus) pada penghantar juga menjadi salah satu syarat aman atau tidaknya dilaksanakan manuver jaringan.

4.4.1 Skenario Manuver Ketika Gangguan Pada Section 7

- Ketika gangguan di section 7 terdeteksi maka secara otomatis *recloser* Arumdalu membuka, sehingga semua section pada penyulang pujon mengalami pemadaman.
- Pada section 7 titik gangguan permanen terjadi pada Desa Manting yang disebabkan oleh pohon bambu tumbang mengenai jaringan SUTM di Desa Manting dengan lama durasi gangguan 22 menit.
- Agar gangguan tidak menyebar ke seluruh section 7 maka dilakukan manuver dengan cara membuka CO Ngabab dengan meminta ijin kepada operator untuk membuka CO Ngabab. Setelah diijinkan oleh operator maka CO Ngabab dapat dibuka atau dilepas.
- Kecuali section yang terdampak gangguan akan didapatkan dari GI Sengkaling dengan meminta ijin kepada operator untuk memasukkan *recloser* Arumdalu. Setelah mendapatkan ijin maka *recloser* Arumdalu dapat dimasukkan sehingga semua section kecuali yang terdampak gangguan dapat tersuplai kembali.
- Dikarenakan section 7 merupakan ujung dari penyulang maka ketika terjadi pemadaman pada section ini maka section yang lain masih dapat disuplai oleh GI Sengkaling dan manuver dengan cara mengisolasi section 7 agar section lain pada penyulang Pujon tidak ikut padam.

Tabel 4. 2 Perbandingan Arus Terpakai Sebelum dan Sesudah Manuver Section 7

Section	Awal	Akhir	I Section (A)	
			Sebelum Manuver	Sesudah Manuver
1	GI	LBS Mojorejo	0	0
2	LBS Mojorejo	LBS Pangsud	0	0
3	LBS Pangsud	Rec. Arumdal	3,63	3,63
4	Rec. Arumdal	LBS Klemuk	3,68	3,68
5	LBS Klemuk	LBSM Monumen	3,16	3,16
6	LBSM Monumen	LBS Ngroto	11,29	11,29
7	LBS Ngroto	Ujung	8,44	5,46
8	Rec. Sebaluh	LBSM Boyak	12,78	12,78
9	LBS Pandemas	LBS Jantur	2,17	2,17
10	CO LBS Wiyurejo	Ujung	6,33	6,33
Total			51,48	48,5

4.4.2 Skenario Manuver Ketika Gangguan Pada Section 10

- Ketika gangguan di section 10 terdeteksi maka secara otomatis *recloser* Arumdalu membuka, sehingga semua section pada penyulang pujon mengalami pemadaman.
- Pada section 10 titik gangguan permanen terjadi pada Desa Borah yang disebabkan oleh aktifitas warga potong pohon mengenai SUTM di Desa Borah dengan lama durasi gangguan 24 menit.
- Agar gangguan tidak menyebar ke seluruh section 10 maka dilakukan manuver dengan cara membuka CO Borah dengan meminta ijin kepada operator untuk membuka CO Borah. Setelah diijinkan oleh operator maka CO Borah dapat dibuka atau dilepas.
- Kecuali section yang terdampak gangguan akan didapatkan dari GI Sengkaling dengan meminta ijin kepada operator untuk memasukkan *recloser* Arumdal. Setelah mendapatkan ijin maka *recloser* Arumdal dapat dimasukkan sehingga semua section kecuali yang terdampak gangguan dapat tersuplai kembali.

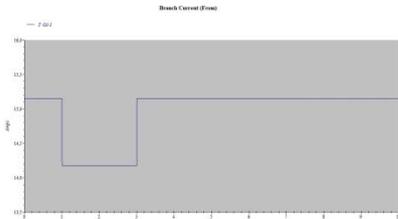
- Dikarenakan *section* 10 merupakan salah satu *section* ujung di penyulang Pujon dan tidak berbatasan dengan penyulang lain maka ketika terjadi pemadaman pada *section* ini maka *section* yang lain masih dapat disuplai oleh GI Sengkaling dan manuver dengan cara mengisolasi *section* 10 agar *section* lain pada penyulang Pujon tidak ikut padam.

Tabel 4. 3 Perbandingan Arus Terpakai Sebelum dan Sesudah Manuver *Section* 10

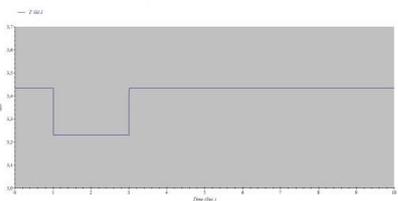
Section	Awal	Akhir	I Section (A)	
			Sebelum Manuver	Sesudah Manuver
1	GI	LBS Mojorejo	0	0
2	LBS Mojorejo	LBS Pangsud	0	0
3	LBS Pangsud	Rec. Arumdalu	3,63	3,63
4	Rec. Arumdalu	LBS Klemuk	3,68	3,68
5	LBS Klemuk	LBSM Monumen	3,16	3,16
6	LBSM Monumen	LBS Ngroto	11,29	11,29
7	LBS Ngroto	Ujung	8,44	5,46
8	Rec. Sebaluh	LBSM Boyak	12,78	12,78
9	LBS Pandemas	LBS Jantur	2,17	2,17
10	CO LBS Wiyurejo	Ujung	6,33	6,28
Total			51,48	48,45

4.5 Analisis Simulasi Manuver Pada ETAP

4.5.1 Analisis Transient Manuver Pada Section 7

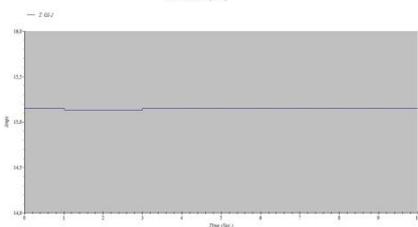


Gambar 4. 1 Grafik Arus Terhadap Waktu *Section* 7

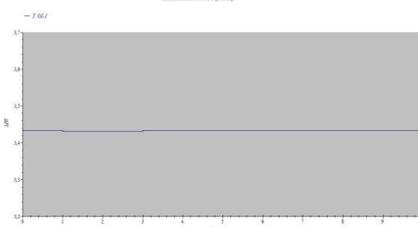


Gambar 4. 2 Grafik Daya Terhadap Waktu *Section* 7

4.5.2 Analisis Transient Manuver Pada Section 10



Gambar 4. 3 Grafik Arus Terhadap Waktu *Section* 10



Gambar 4. 4 Grafik Daya Terhadap Waktu *Section* 10

4.6 Analisis Drop Tegangan

4.6.1 Nilai Drop Tegangan Hasil Simulasi ETAP Sebelum Dan Setelah Manuver

Section	Panjang (ms)		ΔV (%)		Tegangan (kV)	
	Sebelum Manuver	Sesudah Manuver	Sebelum Manuver	Sesudah Manuver	Sebelum Manuver	Sesudah Manuver
1	1131	1131	0,3	0,3	19,756	19,774
2	6424	6424	2,6	2,5	19,307	19,355
3	3038	3038	3,3	3	19,18	19,236
4	456	456	3,3	2,1	19,174	19,231
5	2244	2244	3,9	3,6	19,056	19,123
6	3078	3078	4,2	3,9	18,995	19,074
7	2356	2356	4,2	3,9	18,985	19,069
8	11134	11134	4,2	3,9	18,996	19,061
9	3566	3566	3,8	3,6	19,07	19,135
10	3257	3257	4,1	3,8	19,003	19,077
Total			33,9	30,6	191,522	192,135

Gambar 4. 5 Perbandingan Nilai Drop Tegangan *Section* 7

Section	Panjang (ms)		ΔV (%)		Tegangan (kV)	
	Sebelum Manuver	Sesudah Manuver	Sebelum Manuver	Sesudah Manuver	Sebelum Manuver	Sesudah Manuver
1	1131	1131	0,3	0,3	19,756	19,756
2	6424	6424	2,6	2,5	19,307	19,308
3	3038	3038	3,3	3,3	19,18	19,18
4	456	456	3,3	3,3	19,174	19,175
5	2244	2244	3,9	3,9	19,056	19,057
6	3078	3078	4,2	4,2	18,995	18,996
7	2356	2356	4,2	4,2	18,985	18,986
8	11134	11134	4,2	4,2	18,996	18,997
9	3566	3566	3,8	3,8	19,07	19,07
10	3257	3257	4,1	4	19,003	19,004
Total			33,9	33,7	191,522	191,529

Gambar 4. 6 Perbandingan Nilai Drop Tegangan *Section* 10

4.7 Analisis Losses

4.7.1 Nilai Losses Hasil Simulasi ETAP Sebelum Dan Setelah Manuver

No	Section	Losses (kW)	
		Sebelum Manuver	Setelah Manuver
1	GI Sengkaling – LBS Mojorejo	11,5	10,2
2	LBS Mojorejo – LBS Pangsud	57,6	50,6
3	LBS Pangsud – Rec Arumdalu	19	17,1
4	Rec Arumdalu – LBS Klemuk	4,1	3,9
5	LBS Klemuk – LBSM Monumen	15	13,2
6	LBSM Monumen – LBS Ngroto	18,1	17,1
7	LBS Ngroto – Ujung	10,1	6,2
8	Rec Sebaluh – LBSM Boyak	13,7	13,6
9	LBS Pandemas – LBS Jantur	2,3	2,3
10	CO LBS Wiyurejo – Ujung	6,2	6,2
Total		157,6	140,4

Gambar 4. 7 Perbandingan Nilai Losses *Section* 7

No	Section	Losses (kW)	
		Sebelum Manuver	Setelah Manuver
1	GI Sengkaling – LBS Mojorejo	11,5	11,5
2	LBS Mojorejo – LBS Pangsud	57,6	57,5
3	LBS Pangsud – Rec Arumdalu	19	19
4	Rec Arumdalu – LBS Klemuk	4,1	4,1
5	LBS Klemuk – LBSM Monumen	15	15
6	LBSM Monumen – LBS Ngroto	18,1	18,1
7	LBS Ngroto – Ujung	10,1	10,1
8	Rec Sebaluh – LBSM Boyak	13,7	13,7
9	LBS Pandemas – LBS Jantur	2,3	2,3
10	CO LBS Wiyurejo – Ujung	6,2	6,1
Total		157,6	157,4

Gambar 4. 8 Perbandingan Nilai Losses *Section* 10

4.8 Analisis SAIDI Dan SAIFI.

SUMMARY
System Indexes
 SAIFI 14.8396 f / customer.yr
 SAIDI 126.8330 hr / customer.yr

Gambar 4. 9 Nilai hasil simulasi sebelum manuver

SUMMARY
System Indexes
 SAIFI 14.7419 f / customer.yr
 SAIDI 125.6836 hr / customer.yr

Gambar 4. 10 Nilai hasil simulasi setelah manuver section 7

SUMMARY
System Indexes
 SAIFI 14.8250 f / customer.yr
 SAIDI 126.6992 hr / customer.yr

Gambar 4. 11 Nilai hasil simulasi setelah manuver section 10

Tabel 4. 4 Perbandingan nilai SAIFI dan SAIDI

SAIFI (kali/pelanggan.tahun)			SAIDI (jam/pelanggan.tahun)		
Sebelum Manuver	Setelah Manuver Section 7	Setelah Manuver Section 10	Sebelum Manuver	Setelah Manuver Section 7	Setelah Manuver Section 10
14,8	14,7	14,8	126,8	125,6	126,6

5 Kesimpulan

- Dengan adanya gangguan pada penyulang Pujon di tahun 2021 sebanyak 22 kali maka perlu dilakukan manuver dimana diperlukan identifikasi daerah gangguan dengan cara melihat record lama gangguan permanen pada suatu section dan diketahui hasil identifikasi bahwa section 7 mengalami gangguan permanen selama 22 menit dan section 10 mengalami gangguan permanen selama 24 menit sehingga dari identifikasi titik gangguan ini dapat dilakukan skenario manuver.
- Nilai drop tegangan pada penyulang pujon menurun sekitar 0,3% ketika dilakukan manuver pada section 7 dan 10 dimana sebelum dilakukan manuver besar drop tegangan pada penyulang Pujon sebesar 33,9% dan setelah dilakukan manuver pada section 7 nilai drop tegangan menurun menjadi 30,6% dan saat dilakukan manuver pada section 10 nilai drop tegangan menjadi 33,7% sedangkan losses pada penyulang pujon sebelum dilakukan manuver sebesar 157,6 kW dan ketika dilakukan manuver pada section 7 losses pada jaringan menurun menjadi 140,4 kW dan ketika dilakukan manuver pada section 10 losses pada jaringan menurun menjadi 157,4 kW sehingga dari analisa drop tegangan dan losses dapat disimpulkan bahwa ketika dilakukan manuver berdampak baik pada kualitas daya yang didistribusikan kepada konsumen..
- Sebelum dilakukan manuver nilai SAIFI sebesar 14,8 kali/pelanggan per tahun dan nilai SAIDI 126,8 jam/pelanggan per tahun, setelah dilakukan manuver

section 7 maka nilai SAIFI menurun menjadi 14,7 kali/pelanggan per tahun dan nilai SAIDI menurun 125,6 jam/pelanggan per tahun sedangkan pada section 10 cenderung memiliki nilai yang stabil yaitu pada nilai SAIFI 14,8 kali/pelanggan per tahun dan nilai SAIDI menurun sedikit yaitu 126,6 jam/pelanggan per tahun maka dapat disimpulkan manuver pada section 7 dan 10 berdampak baik pada

Daftar Pustaka

- Mochammad Andy Amrullah. (2021). MENJAGA NILAI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI DI PT . PLN (PERSERO) ULP BATU.
- Hernaldo, D., Prasetyo, R. ., Firman, & Irawan, Y. (2010). Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Universitas Indonesia, 1–35.
- Teixeira, J., & Grid, N. (2019). IEEE 1366- Reliability Indices Some Important Definitions.
- Manopo, K. G., Tumaliang, H., Silimang, S., Elektro, J. T., Sam, U., Manado, R., & Bahu-manado, J. K. (n.d.). Analisis Indeks Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan SAIFI dan SAIDI Pada PT . PLN (Persero) Area Minahasa Utara. 1–12.
- Hayusman, L. M., Hidayat, T., Saleh, C., Wartana, I. M., & Herbasuki, T. (2017). Pelatihan Software ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) Bagi Siswa dan Guru SMK Nasionl Malang. Industri Inovatif : Jurnal Teknik Industri, 7(1),7–11. <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/industri/article/view/856>
- PT. PLN (Persero), N. 605. k/DIR/201. (2010b). Buku 4 Standar konstruksi gardu distribusi dan gardu hubung tenaga listrik. PT PLN (Persero), 4.
- Jamaah, A. (2013). Analisa Beban Section untuk Menentukan Alternatif Manuver Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang BRG-3 PT PLN (Persero) Unit Layanan Salatiga. JTET (Jurnal Teknik Elektro Terapan), 159–173.
- Senen, A., Ratnasari, T., & Anggaini, D. (2019). Studi Perhitungan Indeks Keandalan Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Graphical User Interface Matlab pada PT PLN (Persero) Rayon Kota Pinang. Energi & Kelistrikan, 11(2), 138–148. <https://doi.org/10.33322/energi.v11i2.497>
- Iham. (2019). Analisis Indeks Keandalan Sistem Distribusi Penyulang Kikim di Gardu Induk Sungai Juara Menggunakan Metode Section Technique. 4–15. <http://repository.um-palembang.ac.id/id/eprint/5731>
- Hayusman, L. M., Hidayat, T., Saleh, C., Wartana, I. M., & Herbasuki, T. (2017). Pelatihan Software ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) Bagi Siswa dan Guru SMK Nasionl Malang. Industri Inovatif : Jurnal Teknik Industri, 7(1),7–11. <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/industri/article/view/8>

