

# Analisis Susut Daya Jaringan sebagai Skema Opsi Penentuan Jalur Manuver Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang PWO2 PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Purworejo

Burhanuddin Wafiq<sup>1</sup>, Muhammad Hanif Setyo Sahidanto<sup>1</sup>, Hanif Alauddin Zain<sup>1</sup>, Fivta Abidha Nurulita<sup>1</sup>, Tika Erna Putri<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Gadjah Mada; burhanuddin.wafiq@gmail.com, sahidanto.mh@mail.ugm.ac.id, hanif.a.z@mail.ugm.ac.id, fivtanurulita@mail.ugm.ac.id

\*Korespondensi: tika.erna.p@ugm.ac.id

**Abstract** – *Medium voltage distribution maneuvers are a series of medium-voltage manipulation activities involving two or more feeders with the aim of minimizing blackouts due to disturbances by paying attention to power losses in the network. In maneuvering the network, the selection of the lowest power loss aims to minimize losses and get maximum distribution. Power losses occur due to resistance in the conducting wire of the medium voltage network which carries current, causing high temperatures. Network maneuvers on the PWO2 feeder in Purworejo can be performed on the PWO5 feeder or PWO11 feeder because they have a loop configuration. The PWO2 feeder requires a load overflow of 144,3 A with the network maneuver option on the PWO5 feeder having a total load current of 148,97 A and the PWO 11 feeder having a total load current of 204 A. Based on the calculation of the resistance loss from both network maneuver options, there is a difference where PWO5 is 2.7% and PWO11 is 6.7% of the total feeder power. Considering the total load and active power loss of the network, PWO5 is the main option in maneuvering the load sharing network from PWO2 feeders. The percentage of power loss after network maneuvers has increased to 6.3% of the total load receiving feeder power (PWO5). During network maneuvering, the energy not supplied (ENS) at the time of the outage decreased from 13,493.67 kWh to 77.64 kWh. The Losses incurred from ENS and the increase in post-network maneuvering power losses, when compared to an outage without network maneuvers, result in a total loss of 20,1 million rupiahs. However, with network maneuvering during the outage, the total loss is reduced to 2,8 million rupiahs, representing an 85,9% decrease.*

**Keywords** – *maneuver, feeder, distribution, power losses, ENS*

**Intisari** – Manuver jaringan merupakan serangkaian kegiatan manipulasi jaringan tegangan menengah yang melibatkan dua penyulang atau lebih dengan tujuan meminimalisasi terjadinya padam akibat gangguan dengan memperhatikan susut daya pada jaringan. Dalam melakukan manuver jaringan, pemilihan susut daya terendah bertujuan meminimalisasi kerugian dan mendapatkan penyaluran maksimal. Susut daya terjadi akibat adanya resistansi pada kawat penghantar jaringan tegangan menengah yang teraliri arus sehingga menimbulkan suhu tinggi. Manuver jaringan pada penyulang PWO2 Purworejo dapat dilakukan pada penyulang PWO5 atau penyulang PWO11 karena memiliki konfigurasi *loop*. Penyulang PWO2 memerlukan pelimpahan beban sebesar 144,3 A dengan opsi manuver jaringan pada penyulang PWO5 memiliki arus beban total 148,97 A dan penyulang PWO 11 memiliki arus beban total 204 A. Berdasarkan perhitungan susut daya resistansi dari kedua opsi manuver jaringan memiliki perbedaan di mana, PWO5 sebesar 2,7% dan PWO11 sebesar 6,7% dari total daya penyulang. Menimbang dari total beban dan susut daya aktif jaringan, PWO5 menjadi opsi utama dalam manuver jaringan pelimpahan beban dari penyulang PWO2. Persentase susut daya pasca manuver jaringan mengalami kenaikan menjadi 6,3% dari total daya penyulang penerima beban (PWO5). Dalam manuver jaringan, tingkat *Energy Not Supplied* (ENS) pada saat pemadaman turun dari 13.493,67 kWh menjadi 77,64 kWh. Kerugian yang dialami dari ENS dan kenaikan susut daya pasca manuver jaringan, saat terjadinya pemadaman tanpa manuver jaringan kerugian total sebesar 20,1 juta rupiah. Namun, dengan manuver jaringan saat terjadi pemadaman, kerugian total 2,8 juta rupiah atau turun hingga 85,9%.

**Kata kunci** – *manuver, penyulang, jaringan Distribusi, susut daya, ENS*

## I. PENDAHULUAN

Distribusi tenaga listrik merupakan proses penyaluran tenaga listrik tahapan terakhir setelah melalui proses transmisi. Penyaluran distribusi tenaga listrik bertujuan untuk mengirimkan listrik ke seluruh pelanggan, baik perusahaan maupun rumah tangga. Pendistribusian listrik menjadi tanggung jawab bagi pemerintah melalui Badan Usaha Milik Negara (BUMN), khususnya oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Dalam pendistribusian listrik, PLN memiliki unit-unit yang mempunyai fungsi masing-masing di setiap wilayah Indonesia. Tujuan dari pembagian setiap unit agar pelayanan PLN dapat lebih terfokus secara langsung melayani masyarakat. PLN Unit Induk Distribusi (UID) Jawa Tengah dan DI Yogyakarta terdapat total 13 Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) yang tersebar di seluruh wilayah, salah satunya UP3 Magelang [1]. Unit Layanan Pelanggan (ULP) Purworejo merupakan salah satu unit dari tujuh unit yang berada dalam naungan PLN UP3 Magelang. PLN ULP

Purworejo memiliki tanggung jawab dalam kelancaran pendistribusian listrik pada kawasan Kabupaten Purworejo. Wilayah kerja PLN ULP Purworejo memiliki 9 dari 12 penyulang yang bersumber dari Gardu Induk 150kV Purworejo. Penyulang pada Gardu Induk 150 kV Purworejo yaitu PWO1 s.d. PWO12 dengan kode PWO mewakili Purworejo dan angka di belakangnya merupakan nomor penyulang.

Penyulang merupakan media yang digunakan sebagai pendistribusian listrik ke pelanggan melalui jaringan listrik yang berupa jaringan tegangan menengah (JTM). JTM memiliki tipe konfigurasi berupa radial dan *loop*. Konfigurasi radial memiliki sistem menyalurkan listrik dengan satu sumber penyulang. Sistem tersebut dianggap kurang andal dalam pendistribusian listrik karena tidak terdapat *back up system* apabila terjadi pemadaman yang diperlukan untuk pemeliharaan jaringan listrik tegangan menengah [2]. Berdasarkan hal tersebut, dibuat variasi bentuk yaitu berupa

*konfigurasi loop*. Konfigurasi *loop* merupakan gabungan dari sedikitnya dua konfigurasi *radial* yang terpisahkan oleh peralatan manuver yang berupa *air break switch* (ABS<sub>w</sub>) atau *motorized load break switch* (LBS).

Manuver jaringan merupakan kegiatan pemindahan jalur tegangan yang mengalami padam disebabkan karena adanya gangguan listrik [3]. Gangguan jaringan listrik tegangan menengah dapat terjadi akibat adanya kegiatan seperti pemasangan jaringan baru, perbaikan kabel penghantar, atau perbaikan peralatan *switching* tegangan menengah (ABS<sub>w</sub>, LBS, dll). Manipulasi jalur bertujuan agar jaringan lain tetap dalam keadaan normal (tidak padam). Penyulang PWO2 Purworejo mengalami gangguan pada pemutus (PMT) kabel kubikel *Outgoing* 20kV. Pada kubikel tersebut, terdapat suara anomali (berdesis) yang menandakan adanya gangguan. Gangguan terjadi pada *shoes cable* yang menempel di *busbar* di mana terdapat isolasi kawat penghantar yang tidak sempurna sehingga mengakibatkan adanya *spark over*. Dalam permasalahan tersebut diperlukan perbaikan kawat penghantar dengan cara terminasi ulang. Perbaikan tersebut diperlukan pemadaman listrik untuk keamanan pekerja. Guna meminimalisasi daerah pemadaman listrik, diperlukan manuver jaringan untuk menyalurkan daya. Hal ini menyebabkan jaringan setelah *section* padam sehingga diperlukan *backup* penyulang dengan cara manuver jaringan. Penyulang PWO2 dapat dilakukan manuver jaringan ke penyulang PWO5 atau penyulang PWO11 karena memiliki konfigurasi jaringan berbentuk *loop*. Kegiatan manuver jaringan perlu memperhatikan penyulang dengan arus beban dan susut daya terkecil sehingga dapat meminimalisasi kerugian yang dialami oleh PLN. Pengoperasian peralatan *switching* jaringan distribusi diperlukan untuk melakukan manuver jaringan. Setiap titik akhir penyulang PWO2 dengan penyulang PWO5 atau penyulang PWO11 dilengkapi *switching* berupa ABS dan LBS yang dapat digunakan untuk manuver jaringan.

Analisis manuver jaringan dapat dilakukan dengan dua metode yaitu dengan metode perhitungan dan menggunakan simulasi *software* ETAP. Metode perhitungan dilakukan untuk mengetahui rugi-rugi daya yang dialami penyulang alternatif manuver jaringan. Hasil dari rugi-rugi daya digunakan sebagai pembandingan pemilihan alternatif manuver jaringan. Hasil rugi-rugi daya pada penyulang sebagai alternatif manuver jaringan tegangan menengah sebesar 0,298 MW- 0,607 MW [4], [5].

Penelitian juga dilakukan dengan menggunakan metode simulasi *software* ETAP. Penggunaan *software* ETAP untuk membuat simulasi jaringan. Melalui simulasi tersebut, akan dihasilkan jatuh tegangan pada setiap penyulang. Pemilihan alternatif manuver jaringan mengacu pada nilai jatuh tegangan terendah yang terukur pada ujung jaringan. Hasil rata-rata jatuh tegangan yang digunakan sebagai manuver jaringan sebesar 0,008%-3,9% [6], [7].

Penelitian oleh Nurul Hidayah pada tahun 2017 mengenai manuver jaringan menggunakan metode perangkat lunak *Matlab Matpower* 4.0. Metode perangkat lunak *Matlab Matpower* 4.0 digunakan sebagai bantuan dalam melakukan

perhitungan terhadap *system average interruption duration index* (SAIDI) dan *system average interruption frequency index* (SAIFI) melalui pengolahan data sekunder PLN. SAIDI adalah rata-rata durasi gangguan yang terjadi, sedangkan SAIFI adalah rata-rata frekuensi gangguan yang terjadi. Hasil dari penelitian tersebut menyatakan bahwa tingkat perbaikan keandalan dari kondisi gangguan ke kondisi manuver terhadap kondisi normal adalah SAIFI dari 85% menjadi 100% dan SAIDI dari 69% menjadi 94,8% [8].

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan, belum adanya analisis kenaikan susut daya dari manuver jaringan dan total biaya dari *energy not supplied* (ENS) saat pemadaman akibat gangguan listrik. Metode perhitungan kenaikan susut daya digunakan untuk mengetahui perbedaan susut daya guna menentukan opsi manuver jaringan. Metode perhitungan ENS pada saat padam digunakan sebagai pembandingan total kerugian jika dilakukan manuver jaringan dengan tanpa manuver jaringan. Oleh karena itu, timbul gagasan penelitian yang berjudul “Analisis Susut Daya Jaringan sebagai Skema Opsi Manuver Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang PWO-2 PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Purworejo”.

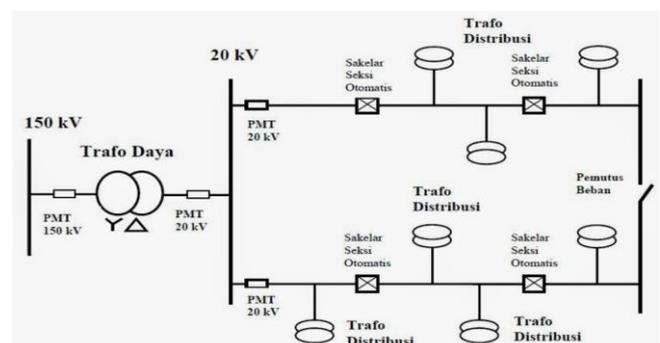
## II. TINJAUAN ANALISIS

### A. Konfigurasi Loop

Konfigurasi *ring* atau *loop* merupakan variasi dari jaringan radial dengan ujung jaringan saling berhubungan (*loop*) pada Gambar 1. Melalui konfigurasi *loop*, gangguan listrik dapat dilokalisasi sekecil mungkin sehingga kontinuitas pelayanan dapat lebih baik [9].

### B. Manuver Jaringan

Manuver jaringan merupakan kegiatan memodifikasi terhadap jaringan yang mengalami gangguan dengan tujuan meminimalisasi daerah pemadaman [10]. Kegiatan yang dilakukan dalam manuver jaringan yaitu, memisahkan bagian-bagian jaringan yang awalnya terhubung dalam keadaan bertegangan atau tidak bertegangan; Menghubungkan bagian-bagian jaringan yang terpisah menurut keadaan operasi normalnya dalam keadaan bertegangan atau tidak bertegangan. Optimalisasi atas keberhasilan manuver dari segi teknis ditentukan oleh konfigurasi jaring dan kemampuan *switching* yang berupa *Motorized LBS* atau ABS<sub>w</sub> [11].



Gambar 1. Jaringan konfigurasi *loop* [12]

C. Kawat Penghantar Jaringan tegangan Menengah

Kawat penghantar yang umum digunakan sebagai penghantar saluran udara tegangan menengah (SUTM) pada PLN yaitu AAAC. Pemilihan kawat penghantar selain dari bahan juga berdasarkan ukuran kawat. Ukuran kawat akan berpengaruh pada arus dan tegangan yang akan dialiri. Luas penampang kawat akan mempengaruhi nilai resistansi pada jaringan. Perhitungan nilai resistansi dapat mengacu pada (1).

$$R = \rho \times \frac{\ell}{A} \tag{1}$$

dengan,

- R nilai resistansi ( $\Omega/\text{km}$ )
- $\rho$  resistivitas logam ( $\Omega\text{m}$ )
- $\ell$  panjang kawat penghantar (km)
- A luas penampang kawat ( $\text{mm}^2$ )

D. Beban Section

Beban *section* merupakan beban yang terukur dari salah satu bagian (*section*) pada jaringan distribusi tegangan menengah [13]. Perhitungan beban *section* dapat menggunakan teori *Kirrchoff Current Law* (KCL). Berdasarkan KCL 1 menyatakan bahwa total arus masuk pada titik cabang sama dengan total arus keluar dari titik cabang dengan (2).

$$\sum I_{in} = \sum I_{out} \tag{2}$$

dengan,

- $\sum I_{in}$  total arus masuk (A)
- $\sum I_{out}$  total arus keluar (A)

Arus beban yang mengalir pada penyulang menuju pada *section* dan *sub-section* jaringan dengan arus keluar sama dengan total arus masuk. Berdasarkan (2) didapatkan rumus perhitungan guna mengetahui beban arus setiap *section* seperti pada (3).

$$\sum I_{section} = I_{awal} - I_{akhir} \tag{3}$$

dengan,

- $\sum I_{in}$  total arus *section* (A)
- $I_{awal}$  arus masuk batas awal *section* (A)
- $I_{akhir}$  arus keluar batas akhir *section* (A)

Metode arus rata-rata merupakan metode yang digunakan untuk menganalogikan beban tidak seimbang menjadi beban seimbang. Nilai arus beban (3) dengan perhitungan rata-rata arus ketiga fase yaitu fase R, fase S, fase T. Perhitungan tersebut bertujuan agar nilai arus ketiga fase menjadi sama dan seimbang. Penyeimbangan arus beban dengan metode arus rata-rata dapat dituliskan seperti (4).

$$I_{rata-rata} = \frac{I_r + I_s + I_t}{3} \tag{4}$$

dengan,

- $I_{rata-rata}$  penyeimbangan rata-rata arus tiga fase (A)
- $I_R$  arus fase R (A)
- $I_S$  arus fase S (A)
- $I_T$  arus fase T (A)

E. Beban Manuver Jaringan

Beban manuver jaringan merupakan arus beban yang dapat dilakukan *back up system* melalui penyulang lainnya. Perhitungan arus beban manuver jaringan diperoleh dari selisih arus beban total dengan arus beban padam akibat gangguan listrik. Persamaan (5) digunakan untuk mendapatkan nilai beban manuver jaringan.

$$I_{n \text{ manuver jaringan}} = I_{n \text{ beban total}} - I_{n \text{ padam}} \tag{5}$$

dengan,

- $I_{n \text{ manuver jaringan}}$  arus nominal beban manuver jaringan (A)
- $I_{n \text{ beban total}}$  arus nominal beban total (A)
- $I_{n \text{ padam}}$  arus nominal beban total (A)

F. Daya Aktif

Daya Aktif merupakan daya yang terpakai untuk penggunaan listrik yang sebenarnya atau nyata [14]. Daya aktif memiliki satuan *watt* (W). Persamaan (6) digunakan untuk mendapatkan nilai daya aktif pada jaringan tiga fase.

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \alpha \tag{6}$$

dengan,

- P daya Aktif (W)
- V tegangan (V)
- I arus yang melalui penghantar (A)
- Cos  $\alpha$  faktor Daya ( $\alpha$ )

G. Susut Daya Aktif

Susut daya aktif merupakan jumlah daya yang terbuang pada suatu jaringan pada proses penyaluran tenaga listrik menuju beban [15]. Dalam melakukan perhitungan susut daya aktif diperlukan beberapa parameter pokok untuk mendapatkan nilai susut daya. Paramater yang digunakan dalam perhitungan susut daya yaitu, jenis kawat penghantar, luas penampang, panjang penampang dan arus beban total [16]. Perhitungan susut daya aktif dapat menggunakan (7).

$$\Delta P \text{ loss} = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot \ell \tag{7}$$

dengan,

- $\Delta P \text{ loss}$  susut Daya (Watt)
- I arus beban yang mengalir pada jaringan (A)
- R resistansi Jaringan (Ohm/km)
- $\ell$  panjang jaringan (km)

Persentase susut daya diperoleh dari perbandingan antara susut daya dengan daya total pada penyulang. Melalui (7), didapatkan rumus perhitungan persentase susut daya seperti pada (8).

$$\% \Delta P \text{ loss} = (\Delta P_{\text{loss}} : \Delta P_{\text{total}}) \times 100\% \tag{8}$$

dengan,

- $\% \Delta P_{\text{loss}}$  susut Daya (Watt)
- $\Delta P_{\text{loss}}$  arus beban yang mengalir pada jaringan (A)
- $\Delta P_{\text{total}}$  resistansi Jaringan (Ohm/km)

H. Energy Not Supplied (ENS)

ENS merupakan indeks keandalan jaringan yang menyatakan bahwa jumlah energi listrik yang tidak dapat disalurkan oleh sistem kepada pelanggan. Energi listrik yang

tidak tersalurkan akibat dari gangguan jaringan sehingga memerlukan pemadaman [17]. Secara sistematis ENS pada saat padam dapat dituliskan sesuai (9).

$$ENS = P_{\text{gangguan}} \times \text{Durasi (h)} \quad (9)$$

dengan,

- ENS *Energy Not Supplied (Wh)*
- P daya yang padam akibat gangguan (kW)
- Durasi lama pemadaman (h)

I. Nilai Kerugian Total

Nilai ekonomi kerugian merupakan biaya yang dikeluarkan dari adanya ENS dan kenaikan susut daya pasca manuver jaringan. Kerugian tersebut dihitung dengan batasan pada saat pemadaman listrik terjadi. Secara sistematis nilai kerugian total dapat dituliskan seperti pada (10).

$$\text{Biaya ENS} = ENS \times \text{Cost}$$

$$\text{Biaya } \Delta P_{\text{loss Manuver}} = \Delta P_{\text{loss Manuver}} \times t \times \text{Cost} \quad (10)$$

$$\text{Kerugian total} = \text{Biaya ENS} + \text{Biaya } \Delta P_{\text{loss Manuver}}$$

dengan,

- Biaya ENS jumlah biaya akibat ENS (Rp)
- ENS *Energy Not Supplied (Wh)*
- Cost biaya listrik per kWh (Rp)
- t durasi pemadaman (h)
- $\Delta P_{\text{loss Manuver}}$  kenaikan susut daya pasca manuver (kW)
- Biaya  $\Delta P_{\text{loss Manuver}}$  biaya kenaikan susut daya pasca manuver jaringan (Rp)
- Kerugian total kerugian nilai ekonomi total (Rp)

III. METODOLOGI

Pada penelitian ini digunakan metode perhitungan terhadap kenaikan susut daya dan ENS manuver jaringan. Penelitian dilakukan berdasarkan kondisi lapangan dengan pengumpulan data melalui pengukuran. Beberapa data yang diperlukan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 1 s.d. Tabel 3. Pada penyulang PWO2, PWO5 dan PWO11 menggunakan kawat penghantar bertipe AAAC. Luas penampang kawat penghantar AAAC yang digunakan sebesar 240 mm<sup>2</sup>.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengukuran Beban Penyulang

Pengukuran data beban penyulang dilakukan dengan menggunakan alat ukur berupa *amp stick*. Pengukuran bertujuan mengetahui nilai beban pada beberapa *section* di setiap penyulang. Beban yang terukur merupakan beban dari titik ujung PMT hingga titik akhir *section* dengan perbandingan antar fase yang dapat dilihat pada Gambar 2. Grafik penyulang PWO2 dan penyulang PWO5 memiliki bentuk yang identik. Hal tersebut dikarenakan penggunaan beban yang relatif sama di daerah perkotaan. Selain itu, perbedaan arus antar fase tidak terlalu signifikan atau seimbang. Grafik penyulang PWO11 cenderung berbeda dari penyulang lainnya. Hal tersebut dikarenakan penggunaan arus

Tabel 1. Data penyulang Purworejo

Penyulang	Frekuensi (Hz)	Faktor Daya (α)	Average Daya Aktif (MW)
PWO 2	50,1	0,93	4,79
PWO 5	50	0,95	5,01
PWO 11	50,1	0,9	6,74

Tabel 2. Data panjang penyulang Purworejo

Penyulang	Peralatan Switching & Nomer Tiang		Panjang Penghantar (Km)
	Dari	Sampai	
PWO 2	PMT	ABSW PWO2-744	12,78
PWO 5	PMT	ABSW PWO5-749-128	20,46
PWO 11	PMT	ABSW PWO11-641-95	28,10

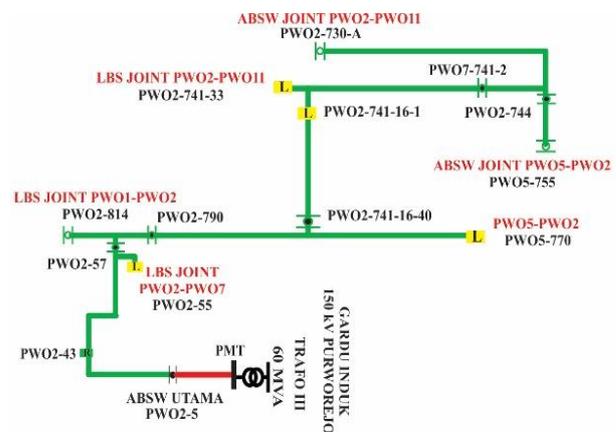
Tabel 3. Data arus pada PMT penyulang

Penyulang	Arus beban (A)		
	R	S	T
PMT PWO2	125,8	166,7	143
PMT PWO5	141,9	145,0	160
PMT PWO11	213	198	201

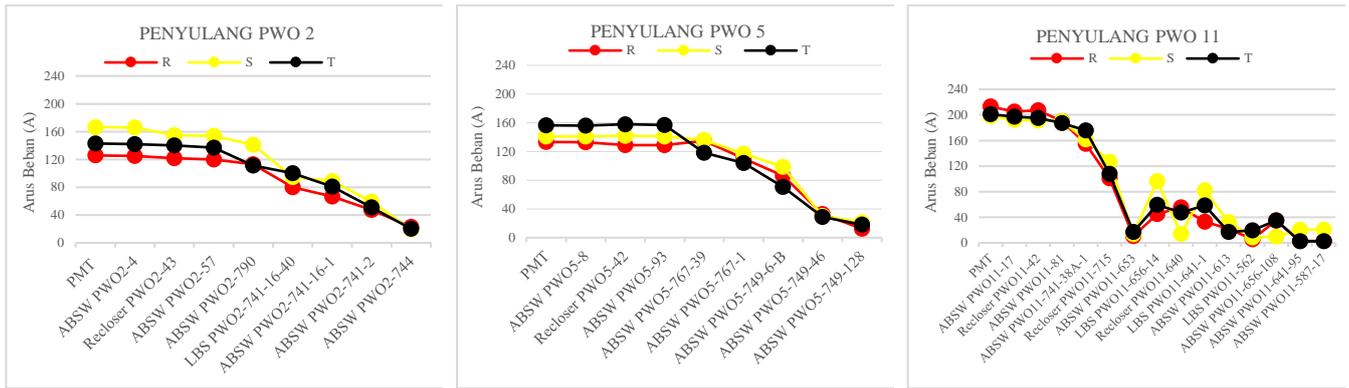
beban yang tidak menentu di mana terjadi di daerah pegunungan sehingga terdapat beberapa titik memiliki perbedaan arus antar fase cukup tinggi. Tidak landainya medan juga membuat jarak kawat penghantar pada penyulang akan semakin panjang.

B. Analisis Beban Section PWO2

Perhitungan beban *section* penyulang PWO2 bertujuan untuk mengetahui jumlah beban arus yang mengalami dampak pemadaman. Pemadaman dilakukan karena terdapat gangguan pada kubikel *outgoing* kabel 20kV diperlukan perbaikan dalam kondisi tidak bertegangan. Pada Gambar 3, garis yang berwarna merah merupakan jalur jaringan daerah yang mengalami pemadaman. Garis yang berwarna hijau merupakan jalur jaringan dampak dari pemadaman yang dapat dilakukan pelimpahan beban melalui manuver jaringan ke penyulang lain. Perhitungan arus beban pada penyulang PWO2 dengan (3), sehingga dihasilkan beban per *section* pada penyulang PWO2 dapat terlihat pada Tabel 4.



Gambar 2. Single line diagram penyulang PWO2



Gambar 3. Hasil pengukuran arus beban pada setiap section penyulang PWO2, PWO5, dan PWO11

C. *Penyeimbangan Arus Beban Puncak*

Manuver jaringan memerlukan penyulang lain sebagai jalur yang digunakan untuk melimpahkan beban. Dalam hal ini, penyulang PWO2 dapat dilakukan manuver jaringan ke penyulang PWO5 atau penyulang PWO11. Penyeimbangan arus beban berguna untuk mengetahui arus beban total pada penyulang opsi manuver jaringan. Penyeimbangan beban menggunakan metode arus rata-rata dengan (4), sehingga didapatkan hasil yang terlihat pada Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5, Penyulang PWO5 memiliki beban total 148,97 A dan PWO11 sebesar 204 A. Penyulang PWO2 memiliki beban total 145,1A dalam kondisi puncak. Perhitungan beban section untuk mengetahui jumlah arus beban yang dapat dilakukan manuver jaringan. Jumlah arus beban manuver jaringan penyulang PWO2 dapat diketahui dengan menggunakan (5). Hasil dari perhitungan (5), arus nominal pada penyulang PWO2 yang dapat dilakukan manuver jaringan sebesar 144,7A.

D. *Analisis Susut Daya Aktif*

Susut daya pada jaringan dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya jenis kawat penghantar, panjang kawat penghantar, dan luas penampang kawat penghantar. PLN Purworejo menggunakan kawat penghantar jaringan tegangan menengah berupa AAAC. Kawat penghantar AAAC terbuat dari aluminium alloy dengan keunggulan memiliki konduktivitas tinggi dan tidak mudah berkarat. Perhitungan susut daya juga diperlukan data berupa panjang jaringan penyulang yang dapat dilihat pada Tabel 2. Dalam melakukan

perhitungan susut daya aktif, diperlukan nilai resistansi kawat penghantar. Resistansi kawat penghantar memiliki standar aturan yang dibedakan melalui bahan dan luas penampang kawat penghantar. Berdasarkan peraturan SPLN No.64 Tahun 1985 kabel AAAC dengan luas penampang 240 mm<sup>2</sup> memiliki resistansi sebesar 0.1344 Ω/Km [18].

Perhitungan susut daya aktif (6) dengan hasil dapat dilihat pada Tabel 6. Dalam mempermudah perbandingan susut daya yang terjadi pada setiap penyulang terhadap daya total, diperlukan persentase susut daya terhadap kapasitas penyaluran daya total pada (8). Hasil perhitungan persentase susut daya terhadap daya total terdapat pada Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5, terdapat hasil dari susut daya pada setiap penyulang. Menurut standar SPLN, batas maksimum susut daya yaitu sebesar 10% [19]. Hal tersebut menandakan susut daya pada penyulang masih dalam kategori baik tidak melebihi 10%.

E. *Penentuan Skema Opsi Manuver jaringan*

Penyulang PWO2 pada daerah PMT-ABSW PWO2-4 mengalami gangguan sehingga perlu dilakukan pemadaman dengan posisi kontak ABSW PWO2-4 open/terbuka. Beban arus dari PMT PWO2-ABSW ke PWO2-4 sebesar 0,8 A. Penyulang PWO2 berdasarkan hasil analisis diperlukan pelimpahan beban sebesar 144,27 A. Penyulang PWO2 memiliki konfigurasi jaringan loop dengan penyulang PWO5 dan penyulang PWO11 sehingga dapat dilakukan manuver

Tabel 4. Hasil perhitungan arus beban per section pada penyulang PWO2

Section	Peralatan Switching & Nomer Tiang		Arus beban (A)		
	Dari	Sampai	R	S	T
Section A	PMT	ABSW PWO2-4	0,8	0,7	1
Section B	ABSW PWO2-4	Recloser PWO2-43	3	11	2
Section C	Recloser PWO2-43	ABSW PWO2-57	2	1	3
Section D	ABSW PWO2-57	ABSW PWO2-790	7	13	26
Section E	ABSW PWO2-790	LBS PWO2-741-16-40	33	46,4	11
Section F	LBS PWO2-741-16-40	ABSW PWO2-741-16-1	13,4	5,7	18,9
Section G	ABSW PWO2-741-16-1	ABSW PWO2-741-2	19,4	29,8	29,9
Section H	ABSW PWO2-741-2	ABSW PWO2-744	24,3	39,9	30,9

Tabel 5. Hasil perhitungan arus rata-rata dan susut daya aktif pada penyulang PWO2, PWO5, dan PWO11

Penyulang	Sebelum Manuver Jaringan			Setelah Manuver Jaringan		
	Arus Beban (A)	Susut Daya Aktif (MW)	Persentase Susut Daya (%)	Arus Beban (A)	Susut Daya Aktif (MW)	Persentase Kenaikan Susut Daya (%)
PWO 2	144,27	0,134	2,7	(Pemadaman jaringan listrik sementara)		
PWO 5	148,97	0,2	3	293,67	1,23	6,3
PWO 11	204	0,466	6,7	348,27	1,964	8,6

jaringan. Penyulang PWO5 memiliki arus beban sebesar 148,97 A dengan susut daya aktif 0,2 MW dan persentase susut daya terhadap daya total sebesar tiga persen. Penyulang PWO11 memiliki beban total sebesar 204 A dengan susut daya aktif sebesar 0,466 MW dan persentase susut daya terhadap daya total sebesar 6,3%. Pelimpahan beban dari penyulang PWO2 apabila menuju penyulang PWO5 mengakibatkan arus beban total menjadi 293,67 A. Sedangkan apabila menuju penyulang PWO11 arus beban total menjadi 348,27 A. Manuver jaringan dapat dilakukan dengan batas maksimal arus yang diizinkan oleh PLN sebesar 480 A. Selain itu, juga perlu diperhatikan susut daya aktif pada kondisi normal sesuai dengan standar. Penyulang PWO5 menjadi opsi manuver jaringan utama karena memiliki susut daya terendah. Pemilihan susut daya terendah untuk meminimalisasi kerugian yang dialami oleh PT PLN.

#### F. Kenaikan Susut Daya pasca Manuver Jaringan

Susut daya pada saat manuver jaringan akan terjadi kenaikan. Kenaikan ini akibat adanya pelimpahan beban sehingga beban pada penyulang dan kawat penghantar penyulang semakin panjang. Analisis kenaikan susut daya pasca manuver jaringan bertujuan untuk mengetahui besaran kenaikan susut daya pada penerima beban. Perhitungan kenaikan susut daya dengan mengetahui selisih persentase susut daya sebelum manuver jaringan dan pasca manuver jaringan. Guna mengetahui persentase susut daya setelah diperlukan data berupa daya total pasca manuver jaringan dengan menggunakan (6), diperoleh daya total PWO5 setelah manuver jaringan sebesar 9,66 MW. Perhitungan susut daya pasca manuver jaringan menggunakan (7), dengan hasil pada Tabel 5. Kenaikan persentase susut daya total (PWO2 dan PWO5) setelah manuver didapat dari selisih persentase susut daya sebelum manuver penyulang PWO5 (opsi manuver jaringan) dan penyulang PWO2 (normal) dengan persentase susut daya pasca manuver penyulang PWO5 (opsi manuver jaringan) dan penyulang PWO2 (pemadaman jaringan) terhadap total daya manuver sehingga didapatkan hasil sebesar 6,2%. Hasil tersebut tidak melebihi ambang dari standar susut daya PT PLN (Persero).

#### G. ENS Manuver Jaringan

Kerugian yang dialami oleh PLN diakibatkan adanya energi yang tidak dapat tersalurkan atau ENS. ENS terjadi akibat adanya pemadaman dikarenakan gangguan, sehingga listrik tidak dapat tersalurkan ke beban atau pelanggan. Manuver jaringan bertujuan meminimalisasi total ENS yang terjadi akibat pemadaman. Perhitungan ENS diperlukan data beban daya total jaringan yang dapat dilakukan manuver

menggunakan (6), sehingga dihasilkan daya sebesar 4.497 kW tanpa menggunakan manuver jaringan dan daya sebesar 25 kW. Berdasarkan hasil dari perhitungan tersebut, maka dapat dilakukan perhitungan total ENS dengan menggunakan (9). Hasil dari perhitungan tersebut didapatkan total ENS tanpa manuver jaringan sebesar 13.493,67 kWh sedangkan total ENS dengan manuver jaringan sebesar 77,64 kWh.

#### H. Biaya Kerugian Total

Biaya kerugian total didapatkan melalui kerugian pada ENS dan kerugian dari adanya kenaikan susut daya pasca manuver. Berdasarkan data gangguan jaringan, pemadaman dilakukan selama 3 jam dengan harga listrik per kwh sebesar Rp 1.487,25 rupiah. Perhitungan total biaya kerugian dari pemadaman PWO2 menggunakan (10). Hasil dari perhitungan ini, biaya kerugian ENS sebesar 115 ribu rupiah. dan biaya kerugian kenaikan susut daya pasca manuver jaringan (PWO5) sebesar 2,7 juta rupiah sehingga total kerugian sebesar 2,8 juta rupiah. Hal ini menunjukkan, saat terjadi pemadaman tanpa manuver jaringan kerugian total sebesar 20,1 juta rupiah, sedangkan dengan melakukan manuver jaringan kerugian total sebesar 2,8 juta rupiah atau turun hingga 85,9 %

## V. SIMPULAN

Penyulang PWO2 mengalami gangguan listrik sehingga diperlukan pemadaman untuk perbaikan. Arus Beban total rata-rata pada penyulang PWO2 sebesar 145,1 A. Gangguan terjadi pada *section A* arus gangguan rata-rata sebesar 0,8 A. Guna memperkecil kerugian akibat gangguan diperlukan manuver jaringan ke penyulang lain yaitu penyulang PWO5 atau PWO11. Penyulang PWO5 memiliki arus beban sebesar 148,97 A dengan susut daya aktif 0,2 MW dan persentase susut daya terhadap daya total sebesar tiga persen. Penyulang PWO11 memiliki beban total sebesar 204 A dengan susut daya aktif sebesar 0,46 MW dan persentase susut daya terhadap daya total sebesar 6,7%. Penyulang PWO5 dijadikan sebagai opsi utama manuver jaringan dari penyulang PWO2 untuk pelimpahan beban karena memiliki susut daya terendah dan arus beban penyulang lebih kecil dibanding PWO11. Total beban arus yang dilimpahkan ke PWO5 sebesar 144,27 A, sehingga setelah manuver jaringan PWO5 memiliki arus beban total rata-rata 293,67 A. Kenaikan persentase susut daya pasca manuver jaringan sebesar 6,3%. Dengan adanya manuver jaringan PWO2, tingkat ENS pada saat gangguan listrik turun dari 13.493,67 kWh menjadi 77,64 kWh. Kerugian yang dialami dari ENS dan kenaikan susut daya pasca manuver jaringan, apabila pemadaman tanpa manuver jaringan kerugian total sebesar 20,1 juta rupiah, sedangkan

pemadaman dengan manuver jaringan kerugian total 2,8 juta rupiah atau turun hingga 85,9%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] ESDM, "Rancangan Besar TMP PT PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Jakarta Raya Tahun 2021," 2021.
- [2] SPLN: 59, "SPLN 59:1985 Keandalan Distribusi Jaringan 20kV," Indonesia, 1985.
- [3] Dwisantiya Ganta Saputri, "Analisis Drop Tegangan dan Manuver Jaringan pada Penyulang Kikim dan Parkit di PT. PLN (persero) Area Palembang," *Analisis Drop Tegangan dan Manuver Jaringan pada Penyulang Kikim dan Parkit di PT. PLN (persero) Area Palembang*, Apr. 2019.
- [4] A. Jamaah, "Analisa Beban Section untuk Menentukan Alternatif Manuver Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang BRG-3 PT PLN (Persero) Unit Layanan Salatiga," Oct. 2013.
- [5] Eko Wibowo, "Analisis Pengaruh Manuver Jaringan 20 kV GI Sragen terhadap Susut Daya," Surakarta, 2019.
- [6] B. Setiawan, "Analisis Penentuan Skenario pilihan Manuver Jaringan pada Penyulang WBN04 di PT. PLN (Persero) UP2D Jawa Tengah & D.I.Y pada DCC 2 Yogyakarta," Sleman, 2018.
- [7] M. A. Sobikin, "Analisis Drop Tegangan dan Manuver Jaringan pada Penyulang SGN11 dan Penyulang SGN14 Menggunakan Software ETAP 16.0.0," *Cyclotron*, vol. 5, no. 1, 2022, doi: 10.30651/cl.v5i1.10638.
- [8] N. Hidayah and A. Budi Muljono, "Analisis Manuver Jaringan terhadap Keandalan Kontinuitas Penyaluran Tenaga Listrik Penyulang di Area Ampenan," vol. 3, no. 1, pp. 109–115, 2014.
- [9] A. Saadah, M. Iqbal Arsyad, and P. Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro, "Studi Perencanaan Pembangunan Penyulang Baru untuk Pembagian Beban Penyulang Sahang 1 Dan Raya 17 PT.PLN (Persero) ULP Siantan," 2020. Accessed: Jun. 15, 2023. [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/43319>
- [10] D. Ganta Saputri, "Analisis Drop Tegangan dan Manuver Jaringan pada Penyulang Kikim dan Parkit di PT. PLN (persero) Area Palembang," *Universitas Muhammadiyah Palembang*, 2019.
- [11] A. K. Ode and M. Faridha, "Pengaruh Manuver Jaringan Distribusi 20 kV terhadap Indeks Keandalan Penyulang BT07 Batulicin," 2020. [Online]. Available: <https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/eeict>
- [12] T. Watiningsih, "Sistem Jaringan Distribusi Tegangan Menengah," *Teodolita: Media Komunikasi Ilmiah di Bidang Teknik*, vol. 13, no. 2, 2012.
- [13] Gunawan Sihombing, "Analisis Indeks Keandalan Secara Teknis dan Ekonomis Jaringan Distribusi 20 KV Menggunakan Metode Section Technique pada PT. PLN (Persero) Rayon Belawan," *Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*, vol. 6, pp. 105–115, 2022.
- [14] Y. Esye and S. Lesmana, "Analisa Perbaikan Faktor Daya Sistem Kelistrikan," Mar. 2021.
- [15] R. Fauzie Ariyanti, "Identifikasi Penyebab Susut Energi Listrik PT. PLN (Persero) Area Semarang Menggunakan Metode Failure Mode & Effect Analysis (FMEA)," 2019.
- [16] Y. Marniati, "Evaluasi Susut Daya Penyulang Cendana 20 kV Pada Gardu Induk Bungaran Dengan ETAP 12.6," *Jurnal Teknik Elektro ITP*, vol. 7, no. 1, pp. 79–92, Jan. 2018, doi: 10.21063/JTE.2018.3133712.
- [17] F. Funan and W. Sutama, "Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan Indeks Keandalan SAIDI dan SAIFI pada PT PLN (PERSERO) Rayon Kefamenanu," Apr. 2020.
- [18] SPLN: 64, "SPLN: 64 1985 Petunjuk Pemilihan dan Penggunaan Pelebur pada Sistem Dist-TM," *Standar Peraturan PLN*, vol. 64, 1985.
- [19] SPLN: 72, "SPLN 72:1987 Standar Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR)," *Standar Penyaluran Listrik Nasional*, vol. 72, 1987.