Analisis Pengaruh Rekonfigurasi Jaringan terhadap Keandalan Sistem Distribusi 20 KV PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Tomoni

Satriani Said Akhmad[1)], Bakhtiar[2)], Nirmayani[3)]
[123] Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
E-mail: satrianisaid86@gmail.com[1], bakhtiar.poltekup@gmail.com[2], nirmayani.mksr17@gmail.com[3]

Abstrak

Kontinuitas pendistribusian energi listrik ke konsumen menjadi salah satu aspek terpenting dalam keandalan suatu sistem kelistrikan. Dalam pendistribusian energi listrik terdapat beberapa hambatan baik disebabkan oleh pemeliharaan ataupun gangguan yang menyebabkan pemadaman. Cara yang dilakukan PT. PLN (Persero) untuk mengatasi masalah pemadaman adalah melakukan rekonfigurasi jaringan dengan memasang LBS *Motorized* pada titik pertemuan penyulang. Sehubungan dengan pemasangan LBS *Motorized* Lera pada titik pertemuan penyulang Lanosi dan penyulang Wotu, penelitian ini bertujuan mengungkap kemampuan manuver kedua penyulang melalui LBS *Motorized* Lera dan menganalisis pengaruh rekonfigurasi jaringan terhadap keandalan sistem distribusi 20 kV PT. PLN (Persero) ULP Tomoni. Pada penelitian ini, data yang digunakan diperoleh dari PT. PLN (Persero) dengan teknik observasi lapangan dan wawancara, analisis data menggunakan teknik analisis deskriptif dan simulasi *Microsoft Excel* dan ETAP v12.6.0. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa manuver beban penyulang Wotu ke penyulang Lanosi dapat dilakukan hingga ujung jaringan, sedangkan manuver beban penyulang Lanosi ke penyulang Wotu hanya mampu hingga *section* VII. Kemudian rekonfigurasi jaringan meningkatkan keandalan penyulang Lanosi dan penyulang Wotu dikarenakan mengalami penurunan nilai SAIDI, CAIDI, ENS, nilai SAIFI tetap, sementara persentase nilai rugi daya dalam keadaan normal maupun manuver mempunyai nilai di bawah standar yang digunakan.

Kata kunci: *Rekonfigurasi Jaringan, Manuver, Keandalan.*

I. PENDAHULUAN

Kontinuitas pendistribusian energi listrik ke konsumen menjadi salah satu aspek terpenting dalam keandalan suatu sistem kelistrikan. Ukuran keandalan dapat dinyatakan dengan tinggi rendahnya efisiensi penyaluran daya listrik. Efisiensi penyaluran daya listrik dapat diamati dari besar rugi daya pada sistem, seberapa sering sistem mengalami pemadaman, berapa lama pemadaman terjadi, dan berapa cepat waktu yang dibutuhkan untuk memulihkan kondisi dari pemadaman yang terjadi. Dalam pendistribusian energi listrik terdapat beberapa hambatan baik itu disebabkan oleh pemeliharaan ataupun gangguan akibat faktor manusia dan alam. Oleh karena itu, diperlukan pertimbangan dalam pengoperasian sistem jaringan distribusi terhadap masalah yang sering kali terjadi.

Penyulang Lanosi dan penyulang Wotu menjadi objek pengamatan pada skripsi ini, dimana pada penyulang ini terdapat pelanggan tegangan menengah yang kontinuitas suplai energi listriknya harus dijaga. Penyulang Lanosi melayani industri Tripleks (PT. SGS) dan industri Kakao (PT. MARS) sedangkan penyulang Wotu melayani objek vital yaitu Rumah Sakit Umum Daerah I Lagaligo Wotu. Meski suplai energi listrik kedua penyulang ini sangat dijaga kontinuitasnya, pada kenyataannya kedua penyulang ini pernah mengalami pemadaman dengan durasi yang lama, misalnya pada penyulang Lanosi tanggal 19 September 2020 mengalami pemadaman yang disebabkan oleh pemeliharaan PMT penyulang pada GI Wotu dengan durasi padam selama 5 jam 15 menit dan pada penyulang Wotu tanggal 17 September 2020 juga mengalami pemadaman yang juga disebabkan oleh pemeliharaan PMT penyulang pada GI Wotu dengan durasi padam selama 4 jam 12 menit.

Salah satu cara yang dilakukan oleh PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Tomoni untuk mengatasi masalah pemadaman pada kedua penyulang tersebut yang disebabkan oleh pemeliharaan maupun gangguan adalah melakukan rekonfigurasi jaringan dengan memasang *Load Break Switch* (LBS) *Motorized* pada titik pertemuan kedua penyulang yang diberi nama LBS *Motorized* Lera, sehingga konfigurasi jaringan penyulang Lanosi dan penyulang Wotu menjadi konfigurasi jaringan *loop* terbuka, jika terjadi pemadaman pada salah satu penyulang maka beban penyulang tersebut dapat disuplai oleh penyulang lain dengan cara manuver.

Adanya rekonfigurasi jaringan pada penyulang Lanosi dan penyulang Wotu dengan pemasangan LBS *Motorized* Lera belum diketahui pengaruhnya terhadap keandalan sistem, sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengungkap kemampuan manuver kedua penyulang melalui LBS *Motorized* Lera dan menganalisis pengaruh rekonfigurasi jaringan terhadap keandalan sistem distribusi 20 kV PT. PLN (Persero) ULP Tomoni.

II. KAJIAN LITERATUR

A. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distibusi adalah sistem penyaluran tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan sehingga kinerja dari sistem jaringan distribusi ini secara

langsung akan mempengaruhi tingkat kepuasan pelanggan [1].

B. Konfigurasi Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Secara umum konfigurasi suatu jaringan tenaga listrik hanya mempunyai 2 konsep konfigurasi, yaitu:

1. Jaringan radial, yaitu jaringan yang hanya mempunyai satu pasokan tenaga listrik, jika terjadi gangguan akan terjadi "*black-out*" atau padam pada bagian yang tidak dapat dipasok.
2. Jaringan bentuk tertutup/ *loop*, yaitu jaringan yang mempunyai alternatif pasokan tenaga listrik jika terjadi gangguan. Sehingga bagian yang mengalami pemadaman (*black-out*) dapat dikurangi atau bahkan dihindari [2].

   Terdapat 2 macam bentuk sistem jaringan distribusi *loop*, yaitu:
   a. Bentuk *open loop*, dengan kondisi normalnya rangkaian selalu terbuka dilengkapi dengan *normally open switch*.
   b. Bentuk *close loop*, dengan kondisi normalnya rangkaian selalu tertutup dilengkapi dengan *normally close switch* [3].

C. Manuver Beban

Manuver beban biasa dikemukakan dengan istilah manuver jaringan. Manuver jaringan adalah kegiatan membuat modifikasi terhadap operasi normal dari jaringan akibat adanya gangguan / pekerjaan jaringan sehingga tetap tercapainya kondisi penyaluran tenaga listrik yang maksimal [4].

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan saat melakukan manuver beban, di antaranya: a) urutan fasa antar penyulang harus sama, b) tegangan antar penyulang harus sama, c) setting peralatan penyulang seperti *Recloser* dan PMT, dan d) KHA penghantar [4].

Pendapat lain mengenai persyaratan manuver beban: 1) Tegangan antara 2 *feeder* harus dalam *range* (±5%), 2) *feeder* yang akan dibebani harus mampu memikul beban total pada jam beban puncak, 3) apabila beda trafo, maka trafo yang akan ditambah beban harus mampu memikul beban pada jam beban puncak [5].

D. KHA Penghantar

Tabel 1. KHA Penghantar AAAC Tegangan 20 kV SPLN 64: 1985 [6].

Luas Penam-pang (mm^2)	Jari – jari (mm)	KHA Penghan-Tar (A)	GMR (mm)	Impedansi Urutan Positif (Ohm/Km)	Impedansi Urutan Nol (Ohm/Km)
35	3.3371	170	2.4227	0.9217 + j0.3790	1.0697 + j1.6665
50	3.9886	210	2.8957	0.6452 + j0.3678	0.7932 + j1.6553
70	4.7193	255	3.4262	0.4608 + j03572	0.6088 + j1.6447
150	6.9084	425	5.2365	0.2162 + j0.3305	0.3631 + j1.6180

E. ATC Penghantar

Available transfer capability (ATC) atau kemampuan ransfer yang masih mungkin bisa dilakukan pada penghantar *section* I masing – masing penyulang pada saat kondisi normal dan manuver dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [7]:

$$ATC = Tot.Transfer\ Kondisi\ Kritis - Tot.Transfer\ Kondisi\ Normal\ (Eksisting) \quad (1)$$

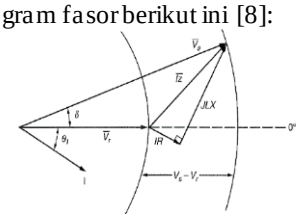
Persentase ATC penghantar terhadap total transfer kondisi kritis dapat dihitung dengan:

$$\%\ ATC\ Penghantar = \frac{ATC\ Penghantar}{Tot.\ Transfer\ Kondisi\ Kritis} x100\% \quad (2)$$

F. Drop Tegangan/ Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan pada saluran distribusi adalah selisih antara tegangan ujung pengiriman dengan tegangan ujung penerima. Jatuh tegangan disebabkan oleh hambatan dan arus. Pada saluran bolak balik besar kecilnya jatuh tegangan tergantung dari impedansi dan admitansi saluran, beban dan faktor daya.

Untuk menentukan persamaan jatuh tegangan digunakan diagram fasor berikut ini [8]:



Gambar 1. Diagram Fasor Tegangan dan Arus

Berdasarkan diagram fasor Gambar 1 di atas, tegangan kirim adalah:

$$\bar{V}_s = \bar{V}_r + \overline{IZ} \quad (3)$$

$$V_s = V_r + IRcos\theta + IXsin\theta \quad (4)$$

$$V_s - V_r = IRcos\theta + IXsin\theta \quad (5)$$

$V_s - V_r = \Delta V$, sehingga persamaan jatuh tegangan pada penyaluran daya listrik dinyatakan dengan persamaan:

$$\Delta V_{3\emptyset} = \sqrt{3}I(Rcos\theta + Xsin\theta) \quad (6)$$

$$\Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_s} x100\% \quad (7)$$

Jatuh tegangan pada sistem distribusi tidak dapat dihindari namun dapat diminimalisir mencapai nilai toleransi yang diperbolehkan. Pada Tabel 2 berikut ditampilkan standar aturan tegangan pelayanan untuk masing-masing tegangan nominal berdasarkan SPLN 72 : 1987 [9] dan SPLN 1 : 1995 [10].

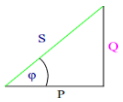
Tabel 2. Standar Aturan Tegangan

Tegangan Nominal (Volt)	Variasi Tegangan (%)
Tegangan Rendah 230/400	+5, -10
Tegangan Menengah 20.000	+5, -5

G. Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Keandalan rugi daya dan parameter keandalan seperti SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan ENS berhubungan dengan efisiensi dalam penyaluran daya listrik. Semakin kecil nilai rugi daya dan parameter keandalan maka semakin tinggi efisiensi penyaluran daya listrik yang terjadi. Semakin tinggi efisiensi penyaluran daya listrik maka semakin andal pula sistem pendistribusian energi listrik [11].

1. Rugi Daya



Gambar 2. Segitiga Daya

a. Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang sebenarnya digunakan oleh konsumen. Daya aktif diberi symbol P dan memiliki satuan Watt [12].

- Daya Aktif 3 Phasa

$$P = \sqrt{3}.V_{ll}.I.cos\emptyset \quad (8)$$

b. Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang digunakan untuk menghasilkan medan magnet. Daya reaktif diberi simbol Q, sedangkan satuan daya reaktif adalah VAR (*Volt Ampere Reactive*) [12].

- Daya Reaktif 3 Phasa

$$Q = \sqrt{3}.V_{ll}.I.sin\emptyset \quad (9)$$

c. Daya Semu

Daya semu merupakan daya yang dibangkitkan oleh generator pada sistem pembangkit listrik. Daya semu diberi simbol S dan memiliki satuan VA (*Volt Ampere*) [12].

- Daya Reaktif 3 Phasa

$$S = \sqrt{3}.V_{ll}.I \quad (10)$$

Rugi – rugi daya adalah nilai daya yang hilang pada suatu jaringan dimana besarnya sama dengan daya yang disalurkan dari sumber dikurangi besarnya daya yang diterima pada perlengkapan hubung bagian utama. Besar rugi – rugi daya pada jaringan tergantung pada besarnya tahanan dan arus beban pada jaringan tersebut [13]. Untuk jaringan 3 fasa,

$$\Delta P_{3\emptyset} = 3I^2R\ (watt) \quad (11)$$

Rugi daya dalam persen adalah rugi daya yang dinyatakan dalam persentase dari daya yang dikirim atau disalurkkan dari sumber. Untuk rugi daya dalam persen didefinisikan sebagai berikut [14]:

$$\%Rugi\ Daya = \frac{Rugi\ Daya}{Daya\ yg\ Disalurkan\ dari\ Sumber} x100\% \quad (12)$$

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

SAIDI merupakan perhitungan indeks tentang durasi pemadaman rata-rata untuk setiap konsumen dalam kurun satu tahun pada suatu area yang di evaluasi. Secara matematis dituliskan sebagai berikut [3]:

$$SAIDI = \frac{Jmlh\ perkalian\ jam\ pemadaman\ dan\ plgn\ padam}{Total\ jumlah\ pelanggan\ yang\ dilayani}$$

$$SAIDI = \frac{\Sigma Ui.Ni}{\Sigma N} \quad (13)$$

3. SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

SAIFI merupakan perhitungan indeks frekuensi pemadaman rata – rata untuk setiap konsumen dalam kurun waktu setahun pada suatu area yang di evaluasi. Nilainya adalah jumlah gangguan yang terjadi dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. Secara sistematis ditulis sebagai berikut [3]:

$$SAIFI = \frac{Jmlh\ perkalian\ \ frek.pemadaman\ dan\ plgn\ padam}{Total\ jumlah\ pelanggan\ yang\ dilayani}$$

$$SAIFI = \frac{\Sigma \lambda i.Ni}{\Sigma N} \quad (14)$$

4. CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*)

CAIDI menginformasikan tentang durasi pemadaman rata – rata konsumen untuk setiap gangguan yang terjadi. Secara sistematis ditulis sebagai berikut [3]:

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{\text{SAIFI}} \quad (15)$$

5. AENS (*Average Energy Not Served*)

AENS (*Average Energy Not Served*) merupakan jumlah rata-rata energi listrik yang tidak tersalurkan dalam suatu sistem distribusi tiap tahun. Hal ini didefinisikan sebagai rasio dari total energi yang tidak diberikan untuk jumlah pelanggan [3].

$$AENS = \frac{Energi\ Tot.\ yg\ tak\ tersalurkan\ Sistem}{Total\ Pelanggan\ yang\ Dilayani} \quad (16)$$

AENS dapat dikerucutkan menjadi indeks ENS (*Energy Not Served*) yang merupakan penjumlahan dari daya yang tidak tersuplai kepada pelanggan selama periode waktu tertentu. Ini didefinisikan sebagai penjumlahan energi yang tidak diberikan karena gangguan terhadap pasokan daya selama periode tertentu.

$$ENS = \Sigma[Daya\ tidak\ Tersuplai\ (kW)\ x\ Durasi\ (h)] \quad (17)$$

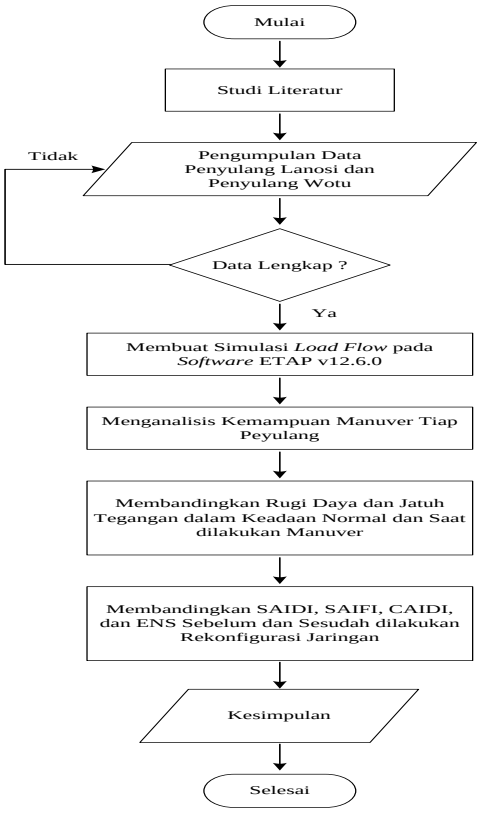
III. METODE PENELITIAN

Objek penelitian ini adalah penyulang Lanosi dan penyulang Wotu wilayah kerja PT. PLN (Persero) ULP Tomoni. Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan meliputi:

1. Melakukan studi literatur dan mengumpulkan data. Data – data yang dimaksud adalah data penyulang Lanosi dan Penyulang Wotu berupa:
   a. Data transformator tenaga sumber,
   b. *Single line diagram*,
   c. Data pembebanan,
   d. Data penghantar dan Panjang Jaringan,
   e. Data Peralatan *Switching*,
   f. Data Jumlah Pelanggan, dan
   g. Data Durasi Padam.
2. Membuat simulasi *load flow* pada *software* ETAP v12.6.0 berdasarkan data yang telah diperoleh.
3. Selanjutnya, menganalisis kemampuan manuver tiap penyulang dengan cara sebagai berikut:
   a. Menghitung beban puncak per – *section* masing – masing penyulang dengan persamaan (10).

b. Menghitung total beban pada penyulang saat dilakukan manuver.
c. Menghitung jatuh tegangan masing – masing penyulang pada saat kondisi normal dan manuver menggunakan persamaan (6) dan membandingkan dengan jatuh tegangan hasil simulasi pada *software* ETAP v12.6.0.
d. Hasil perhitungan beban dan jatuh tegangan tersebut kemudian dibandingkan dengan arus *setting* – an PMT penyulang dan arus *setting* LBS *Motorized* Lera, serta membandingkan pula beban dan jatuh tegangan tiap penyulang saat dilakukan manuver dengan KHA penghantar dan jatuh tegangan sesuai dengan standar PLN.

4. Selanjutnya menghitung rugi daya dengan persamaan (11) pada saat kondisi normal serta saat dilakukan manuver dan hasilnya dibandingkan dengan hasil simulasi pada *software* ETAP v12.6.0.
5. Selanjutnya menghitung dan membandingkan SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan ENS sebelum dan sesudah dilakukan rekonfigurasi jaringan. Perhitungan SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan ENS dilakukan dengan menggunakan persamaan (13), (14), (15), dan (17).
6. Selanjutnya adalah menarik kesimpulan dari analisis yang telah dilakukan.



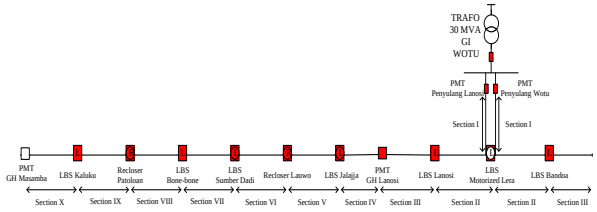
Gambar 3. Diagram Alir penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Hasil*

Sebelum dilakukan rekonfigurasi jaringan, konfigurasi jaringan penyulang Lanosi dan penyulang Wotu adalah konfigurasi radial dan tidak saling berhubungan satu dan lainnya. Sesudah dilakukan rekonfigurasi jaringan konfigurasi jaringan penyulang Lanosi dan penyulang Wotu menjadi konfigurasi jaringan *loop* terbuka yang dapat di manuver satu dengan yang lainnya.

Tabel 3 dan Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan beban per – *section* penyulang Lanosi dan penyulang Wotu. Total beban penyulang Lanosi 4951.959 KVA dengan arus beban sebesar 136.148 A dan total beban penyulang Wotu 802.98 KVA dengan arus beban sebesar 22.077 A.



Gambar 4. *Single Line Diagram* per – *Section* Penyulang Lanosi dan Penyulang Wotu Sesudah Rekonfigurasi Jaringan

Tabel 3. Data Beban per – *Section* Penyulang Lanosi

Section	**Beban (KVA)**	**Arus Beban (A)**
I	195.636	5.379
II	288.31	7.927
III	0	0.000
IV	660.336	18.155
V	775.234	21.314
VI TMN	80.638	2.217
VI MSB	248.6	6.835
VII	461.025	12.675
VIII	1790.095	49.216
IX	452.085	12.429
X	0	0.000
Total	**4951.959**	**136.148**

Tabel 4. Data Beban per – *Section* Penyulang Wotu

Section	**Beban (KVA)**	**Arus Beban (A)**
I	0.00	0.000
II	212.29	5.837
III	590.69	16.240
Total	**802.98**	**22.077**

B. *Pembahasan*

1. Kemampuan Manuver Penyulang Lanosi dan Penyulang Wotu

a. Arus Beban yang Mengalir dan Jatuh Tegangan dalam Kondisi Normal

Arus yang mengalir pada penyulang Lanosi sebesar 136.148 A dengan ATC penghantar sebesar 67.97% dan pada penyulang Wotu sebesar 22.077 A dengan ATC penghantar sebesar 94.81%.

b. Manuver Penyulang Lanosi ke Penyulang Wotu

Arus beban yang mengalir pada LBS *Motorized* Lera adalah 136.148 A dan arus beban yang mengalir pada *section* I penyulang Wotu adalah 158.224 A. Jatuh

tegangan penyulang Wotu sebesar 1.271% dan jatuh tegangan penyulang Lanosi sebesar 9.527%.

Arus yang mengalir pada LBS Motorized Lera melebihi *setting* - nya, sehingga manuver tidak dapat dilakukan hingga ujung jaringan penyulang Lanosi. Berdasarkan hasil penentuan batas *section* manuver penyulang Lanosi ke penyulang Wotu:

Merujuk pada hasil perhitungan beban per – *section* penyulang Lanosi yang dapat dilihat pada Tabel 3, batas *section* penyulang Lanosi yang dapat dialihkan ke penyulang Wotu adalah *section* VII dengan total arus beban sebesar 74.502 A. Sehingga arus beban yang mengalir pada LBS *Motorized* Lera sebesar 74.502 A dan arus beban yang mengalir pada *section* I penyulang Wotu adalah 96.579 A, ATC penghantar sebesar 77.28%. Jatuh tegangan penyulang Wotu sebesar 0.901% dan jatuh tegangan penyulang Lanosi sebesar 3.159%.

c. Manuver Penyulang Wotu ke Penyulang Lanosi

Arus beban yang mengalir pada LBS *Motorized* Lera adalah 22.077 A dan arus beban yang mengalir pada *section* I penyulang Lanosi adalah 158.224 A, ATC penghantar sebesar 62.77%. Jatuh tegangan penyulang Lanosi sebesar 10.397% dan jatuh tegangan penyulang Wotu sebesar 0.325%.

Jatuh tegangan pada penyulang Lanosi dalam kondisi normal maupun manuver tidak sesuai atau melebihi standar jatuh tegangan berdasarkan SPLN 72 : 1987. Meski jatuh tegangan penyulang Lanosi melebihi standar jatuh tegangan berdasarkan SPLN 72: 1987, manuver tetap dapat dilakukan karena standar jatuh tegangan yang digunakan untuk penyulang Lanosi adalah 3 kV atau sekitar 14% dari tegangan nominal, hal tersebut dapat terjadi karena pengaturan tap transformator distribusi pada penyulang Lanosi. Jika pada umumnya posisi tap transformator distribusi diatur pada tap 3 dengan tegangan primer sebesar 20 kV, posisi tap transformator distribusi pada penyulang Lanosi diatur pada tap 7 dengan tegangan primer sebesar 18 kV. Sehingga semua persyaratan manuver terpenuhi.

Tabel 5. Perbandingan Arus Beban yang Mengalir terhadap *Setting* PMT, LBS *Motorized* Lera, dan KHA Penghantar Setelah Perhitungan Batas *Section* Penyulang Lanosi.

Penyu-lang	Arus *Setting* - an PMT Penyu-lang 360 A	Arus *Setting* - an LBS *Motorized* Lera 80 A	KHA Peng-hantar 150 mm^2 425 A	ATC Peng-hantar	Keter-angan
Lanosi	136.148 A	*Open*	136.148 A	67.97%	Memenuhi
Wotu	22.077 A	*Open*	22.077 A	94.81%	Memenuhi
Manuver Penyulang Lanosi ke Penyulang Wotu	96.579 A	74.502 A	96.579 A	77.28%	Memenuhi
Manuver Penyulang Wotu ke Penyulang Lanosi	158.224 A	22.077 A	158.224 A	62.77%	Memenuhi

2. Keandalan Penyulang Lanosi dan Penyulang Wotu

a. Rugi Daya Masing – masing Penyulang dalam Kondisi Normal dan Manuver

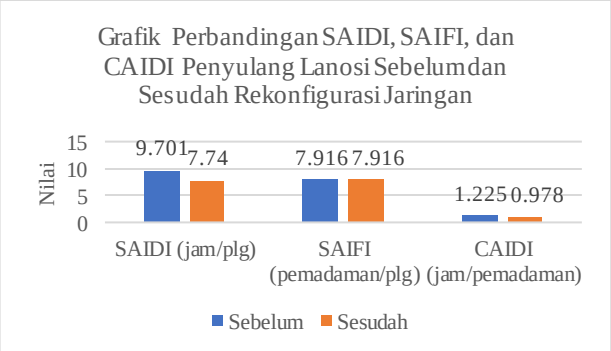
Dari hasil perhitungan diketahui dalam kondisi normal total rugi daya pada penyulang Lanosi sebesar 318.548 kW atau 6.16%, dan total rugi daya penyulang Wotu sebesar 2.717 kW atau 0.34%. Sedangkan total rugi daya dalam kondisi manuver penyulang Lanosi ke penyulang Wotu sebesar 63.744 kW atau 1.82% dan total rugi daya manuver penyulang Wotu ke penyulang Lanosi sebesar 331.340 kW atau 5.55%. Besar persentase rugi daya penyulang Lanosi dan penyulang Wotu baik dalam kondisi normal maupun manuver mempunyai nilai di bawah bobot KPI unit layanan pelanggan (6%) sehingga dapat disimpulkan bahwa meski dilakukan manuver atau pengalihan beban dari penyulang Lanosi ke penyulang Wotu maupun sebaliknya keandalan rugi daya dari penyulang tetap terjaga.

Perhitungan rugi daya juga dilakukan pada simulasi ETAP v12.6.0. Berikut perbandingan hasil perhitungan menggunakan *Micrososft Excel* dan *software* ETAP v12.6.0.

Tabel 6. Perbandingan Hasil Perhitungan menggunakan *Micrososft Excel* dan Simulasi *Software* ETAP v12.6.0.

Keadaan	Rugi Daya (kW)		
	Hitung	ETAP	*Error*
Penyulang Lanosi Normal	318.548	339.8	21.252
Penyulang Wotu Normal	2.717	2.6	0.117
Manuver Penyulang Wotu ke Penyulang Lanosi	331.340	354	22.660
Manuver Penyulang Lanosi ke Penyulang Wotu	63.744	63.6	0.144

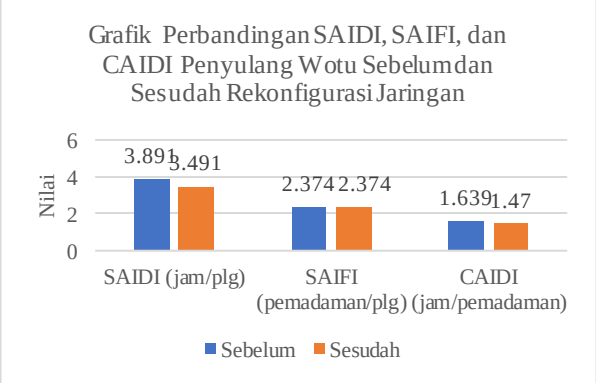
b. SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan ENS



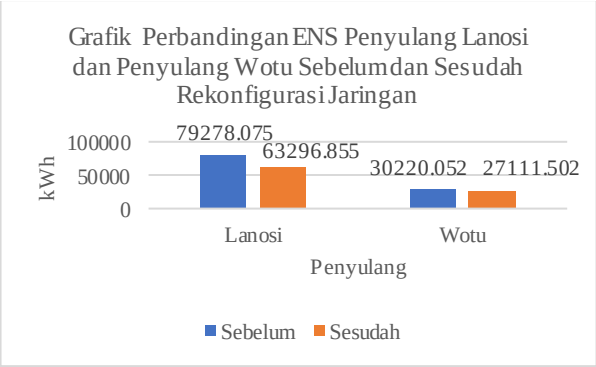
Gambar 5. Grafik Perbandingan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI Penyulang Lanosi Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi Jaringan

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat nilai SAIDI sebelum rekonfigurasi jaringan adalah sebesar 9.701 jam/plg, setelah rekonfigurasi jaringan nilai SAIDI turun menjadi 7.74 jam/plg. Penurunan nilai SAIDI sebesar 1.961 jam/plg. Nilai SAIFI sebelum dan sesudah rekonfigurasi yaitu 7.916 pemadaman/plg. Sedangkan nilai CAIDI sebelum rekonfigurasi jaringan sebesar 1.225 jam/pemadaman, dan sesudah rekonfigurasi jaringan turun menjadi 0.978 jam/pemadaman. Penurunan nilai CAIDI sebesar 0.247 jam/pemadaman.

Berdasarkan grafik PADA Gambar 6, dapat dilihat nilai SAIDI sebelum rekonfigurasi jaringan adalah sebesar 3.891 jam/plg, setelah rekonfigurasi jaringan nilai SAIDI turun menjadi 3.491 jam/plg. Penurunan nilai SAIDI sebesar 0.4 jam/plg. Nilai SAIFI sebelum dan sesudah rekonfigurasi yaitu 2.374 pemadaman/plg. Sedangkan nilai CAIDI sebelum rekonfigurasi jaringan sebesar 1.639 jam/pemadaman, dan sesudah rekonfigurasi jaringan turun menjadi 1.470 jam/pemadaman. Penurunan nilai CAIDI sebesar 0.169 jam/pemadaman.



Gambar 6. Grafik Perbandingan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI Penyulang Wotu Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi Jaringan



Gambar 7. Grafik Perbandingan ENS Penyulang Lanosi dan Penyulang Wotu Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi Jaringan

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat data ENS penyulang Lanosi dan penyulang Wotu sebelum dan sesudah rekonfigurasi jaringan. ENS penyulang Lanosi sebelum rekonfigurasi jaringan sebesar 79278.075 kWh dan sesudah rekonfigurasi jaringan turun menjadi 63296.855 kWh. Penurunan ENS penyulang Lanosi sebesar 15981.22 kWh. Sedangkan ENS penyulang Wotu sebelum rekonfigurasi jaringan sebesar 30220.052 kWh dan sesudah rekonfigurasi jaringan turun menjadi 27111.502 kWh. Penurunan nilai ENS penyulang Wotu sebesar 3108.55 kWh.

V. KESIMPULAN

1. Manuver beban penyulang Wotu ke penyulang Lanosi dapat dilakukan hingga ujung jaringan dengan total arus beban sebesar 158.224 A, ATC penghantar sebesar 62.77%, arus yang mengalir melalui LBS *Motorized* Lera sebesar 22.077 A, jatuh tegangan pada penyulang Lanosi sebesar 10.397%, dan jatuh tegangan pada penyulang Wotu sebesar 0.325%. Sedangkan manuver beban penyulang Lanosi ke penyulang Wotu hanya mampu hingga *section* VII dengan total arus beban sebesar 96.579 A, ATC penghantar sebesar 77.28%, arus yang mengalir melalui LBS *Motorized* Lera sebesar 74.502 A, jatuh tegangan pada penyulang Wotu sebesar 0.901%, dan jatuh tegangan pada penyulang Lanosi sebesar 3.159%.
2. Rekonfigurasi jaringan meningkatkan keandalan penyulang Lanosi dan penyulang Wotu. Penyulang Lanosi mengalami penurunan nilai SAIDI sebesar 1.961 jam/plg, nilai SAIFI tetap sebesar 7.916 pemadaman/plg, penurunan nilai CAIDI sebesar 0.247 jam/pemadaman, dan penurunan nilai ENS sebesar 15981.22 kWh. Sedangkan penyulang Wotu mengalami penurunan nilai SAIDI sebesar 0.4 jam/plg, nilai SAIFI tetap sebesar 2.374 pemadaman/plg, penurunan nilai CAIDI sebesar 0.169 jam/pemadaman, dan penurunan nilai ENS sebesar 3108.55 kWh. Sementara nilai rugi daya dalam keadaan normal, penyulang Lanosi sebesar 6.16% dan penyulang Wotu sebesar 0.34%. Dalam kondisi Manuver penyulang Wotu ke penyulang Lanosi nilai rugi daya sebesar 5.55% dan dalam kondisi manuver penyulang Lanosi ke penyulang Wotu nilai rugi daya sebesar 1.82%.

REFERENSI

[1] A. Basrah Pulungan, . S., and D. Prinando Tambun, "Keandalan Jaringan Tegangan Menengah 20 kV di Wilayah APJ Padang PT.PLN (Persero) Cabang Padang," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 58–61, 2012, doi: 10.20449/jnte.v1i1.62.

[2] P. T. PLN, "Kriteria Desain Engineering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik Buku PLN Edisi 1." Jakarta, 2010.

[3] U. Repository, "BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori," *UMY Repos.*, no. 2017, pp. 6–42, 2016.

[4] A. Jamaah, "Analisa Beban Section untuk Menentukan Alternatif Manuver Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang BRG-3 PT PLN (Persero) Unit Layanan Salatiga," pp. 159–173, 1985.

[5] S. S. Atmojo and I. A. W. DHET, "Makalah Seminar Kerja Praktek Manuver Pembebasan Tegangan Sistem Distribusi Sisi Incoming 20 KV dan BUSBAR Guba Pekerjaan di Kubikel GI Tambak Lorok," pp. 3–4, 2013.

[6] "Petunjuk Pemilihan dan Penggunaan Pelebur pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah," in *SPLN 64 : 1985*, Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara, 1985.

[7] W. Adyatmoko, R. S. Wibowo, A. Soeprijanto, J. T. Elektro, and F. T. Industri, "Menggunakan Unified Power Flow Controller," vol. 1, pp. 2–5, 2012.

[8] T. Gonen, *Electric Power System Distribution Engineering*, 3rd ed. New York: CRC Press, 2014.

[9] "Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR)," in *SPLN 72 : 1987*, Jakarta: Departemen

Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara., 1987.
[10] "Tegangan - tegangan Standar," in *SPLN 1 : 1995*, Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara, 1995.
[11] I. Hajar and M. H. Pratama, "Tenaga Listrik Pada Penyulang Cahaya PT . PLN (Persero)," *J. Ilm.*, vol. 10, no. 1, pp. 70–77, 2018.
[12] Y. Iksan and L. Ruslan, "Analisis Kompensasi Daya Reaktif Motor Induksi 3 Fasa Saat Beban Puncak Pada PT . Semen Tonasa Unit 4," vol. 16, no. 1, pp. 21–28.
[13] Cekmas Cekdin, *Sistem Tenaga Listrik*, 2nd ed. Yogyakarta: Penerbit Andi, 2010.
[14] J. Mangundap *et al*., "Analisa Rugi-Rugi Daya Jaringan Distribusi Di PT. PLN (Persero) Area Manado 2017," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 7, no. 3, pp. 219–226, 2018.