

Analisis Pengaruh Penambahan Penyulang Dan Pemisahan Beban Terhadap Susut Daya Menggunakan Metode *Simple Branch Exchange* (Studi Kasus PT PLN ULP Lima Puluh, Sumatera Utara)

Irnanda Priyadi, S.T.,M.T.^{1*}, Junas Haidi, S.T.,M.T.¹, Chandra Sitohang¹

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Kota Bengkulu, Provinsi Bengkulu
irnanda_p@unib.ac.id

Abstract

During the distribution process there will be a loss of some of the energy that is channeled. This phenomenon is known as losses. This is caused by technical and non-technical factors. In the State Electricity Service (PLN) system, distribution losses or energy losses is calculated by measuring the difference between kWh produced and kWh sell. This kWh difference is the electrical energy lost during the starting process from the generation or secondary side of the Substation to customers' APP. Cumulatively, the amount of kWh at all base sources is 73,769,524 kWh while the distribution loss that occurs in JTM is 5,835,008 or 7.91%. One way to overcome and minimize distribution losses in the 20 kV Procurement Service Unit (ULP) of Lima Puluh distribution system is to analyze the distribution network system, add new feeders and break the load on the electrical system. The simple branch exchange method is used to separate the network load, which is done by adding a switch by turning the on or off channel and searching for the configuration that produces the smallest power loss and calculating the power loss based on the network load. Based on the simulation results using the ETAP 12.6 software, the results of the energy loss of Procurement Service Unit (ULP) of Lima Puluh is 5,864,112 kWh then decreased after load separation of 4,341,348 kWh. The value of power loss before load separation is 1,955 kW and a decrease in power loss after load separation is 1,484.5 kW. The investment cost incurred for the construction of a new feeder is RP. 22,000,000,000,- with a payback of 9.9 years.

Keywords: Feeder, Power Loss, Energy Loss, ETAP 12.6.

Abstrak

Selama proses distribusi akan terjadi hilangnya sebagian energi yang tersalur. Fenomena ini disebut dengan susut/losses. Hal tersebut diakibatkan oleh

faktor teknis maupun faktor non-teknis. Pada sistem PLN, susut distribusi atau susut energi dihitung dengan mengukur selisih antara kWh produksi dan kWh jual. Selisih kWh ini merupakan energi listrik yang hilang selama proses mulai dari pembangkitan atau sisi sekunder Gardu Induk sampai dengan APP pelanggan. Secara kumulatif, besarnya kWh di seluruh pangkal sumber adalah 73.769,524 kWh sedangkan susut distribusi yang terjadi pada JTM sebesar 5.835,008 atau 7,91%. Salah satu cara dalam mengatasi dan meminimalkan susut distribusi pada sistem distribusi 20 kV Unit Layanan Pengadaan (ULP) Lima Puluh adalah dengan menganalisis sistem jaringan distribusi, penambahan penyulang baru dan melakukan pecah beban sistem kelistrikan. Digunakan metode *simple branch exchange* untuk memisahkan beban jaringan yang dilakukan dengan cara menambahkan *switch* dengan mengubah *on* atau *off* saluran dan pencarian konfigurasi yang menghasilkan susut daya terkecil serta menghitung susut daya berdasarkan beban jaringan. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software ETAP 12.6* didapat hasil susut energi ULP Lima Puluh 5.864.112 kWh kemudian mengalami penurunan setelah pemisahan beban sebesar 4.341.348 kWh. Nilai susut daya sebelum pemisahan beban sebesar 1.955 kW dan mengalami penurunan susut daya setelah pemisahan beban menjadi 1.484,5 kW. Biaya investasi yang dikeluarkan untuk pembangunan penyulang baru sebesar RP. 22.000.000.000,- dengan pengembalian modal selama 9,9 tahun.

Kata kunci : Penyulang, Susut Daya, Susut Energi, *ETAP 12.6*.

I. PENDAHULUAN

Pada sistem PLN, susut distribusi atau susut energi dihitung dengan mengukur selisih antara kWh produksi dan kWh jual. Selisih kWh ini merupakan energi listrik yang hilang selama proses mulai dari pembangkitan atau

sisi sekunder Gardu Induk sampai dengan Alat Pembatas dan Pengukur (APP) pelanggan. Secara kumulatif, besarnya kWh di seluruh pangkal sumber adalah 73,769,524 kWh sedangkan susut distribusi kumulatif ULP Lima Puluh dimulai dari periode Januari 2019 sampai dengan Desember 2019 yaitu sebesar 8,394,739 kWh atau 11.38% dan susut distribusi yang terjadi pada JTM sebesar 5,835,008 atau 7,91%. [1]

PT PLN (Persero) ULP Lima Puluh yang selanjutnya disebut dengan PLN Lima Puluh merupakan salah satu unit di PT PLN (Persero) UIW Sumatera Utara UP3 Pematang Siantar yang melakukan pendistribusian tenaga listrik kepada konsumen. PLN Lima Puluh memiliki wilayah kerja yang cukup luas yang mencakup sebagian wilayah Kabupaten Batu Bara dan sebagian wilayah Kabupaten Simalungun. Salah satu cara dalam mengatasi dan meminimalkan susut distribusi pada sistem distribusi 20 kV ULP Lima Puluh adalah dengan menganalisis sistem jaringan distribusi, penambahan penyulang baru dan melakukan pecah beban sistem kelistrikan. Dalam usulan pecah beban dan penarikan penyulang baru ini terlebih dahulu dilakukan analisis/perhitungan susut teknis dengan menggunakan ETAP 12.6.

Dalam penelitian ini, digunakan metode *simple branch exchange* untuk memisahkan beban jaringan yang dilakukan dengan cara menambahkan *switch* dengan mengubah *on* atau *off* saluran dan pencarian konfigurasi yang menghasilkan susut daya terkecil serta menghitung susut daya berdasarkan beban jaringan. Berdasarkan perihal tersebut, maka secara empiris penyusun skripsi melihat adanya peluang berupa upaya penurunan susut daya di ULP Lima Puluh yakni dengan melakukan pisah beban dan penarikan penyulang baru 20 kV terhadap penyulang SM05 dan SM07.

II. Landasan Teori

Penelitian ini bertujuan untuk melihat dampak penurunan susut daya/energi dari usulan rekonfigurasi penyulang di PLN ULP Lima Puluh. Susut daya (susut energi) merupakan besarnya daya yang hilang pada suatu jaringan pada proses pengiriman daya listrik dari sumber kepada beban. Penelitian dilakukan dengan cara membandingkan hasil simulasi sebelum dan sesudah penambahan penyulang baru dan pemecahan jaringan distribusi 20 kV menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0 (*Electrical Transient Analysis Program*). Hal yang dilakukan setelah melakukan simulasi pemisahan beban menggunakan *software etap 12.6.0* adalah menghitung besar daya yang tersalurkan, susut daya dan susut energi menggunakan persamaan 1, 2 dan 3.[2-4]

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \text{ (kW)}$$

(1)

Perhitungan *losses* sebagai berikut :

$$P_{loss} = 3 I^2 R I \text{ (kW)}$$

(2)

Susut energi dapat dihitung menggunakan rumus

$$E_{loss} = P_{loss} \times h \text{ (Watt hour)/1000 (kWh)}$$

$$\% \text{ Susut Energi} = \frac{\text{Total Susut Energi}}{\text{Total Energi Yang Tersalurkan}}$$

A. Metode Newton-Raphson

Pada tahap awal, dilakukan penomoran bus terhadap sistem yang akan dianalisis. Bus-bus yang terhubung dengan generator diberi nomor terlebih dahulu setelah itu penomoran bus dilanjutkan pada bus-bus beban, bus yang memiliki kapasitas pembangkit terbesar dipilih sebagai slack bus dan diberi nomor satu, Untuk bus yang lain yang terhubung ke generator diberi nomor dua sebagai bus pembangkit dan bus beban diberi nomor 0 (nol).[5]

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \angle \theta_{ij} + \delta_j$$

$$P_i - jQ_i = |V_i| e^{-j\delta_i} \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \angle (e^{j(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})})$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})$$

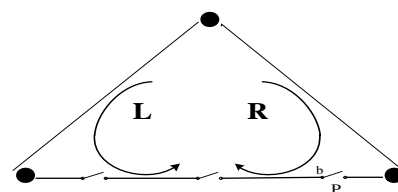
B. Pemisahan Beban

Pemisahan beban merupakan salah satu fenomena yang terjadi di suatu sistem tenaga listrik yang mengizinkan adanya beban keluar dari sistem sehingga menghasilkan kestabilan sistem tenaga listrik. Hal ini biasanya disebabkan oleh adanya beban lebih pada sistem, sehingga untuk dapat mengembalikan kondisi sistem agar seperti sedia kala diperlukan pemisahan beberapa beban tertentu.[6]

C. Metode Simple Branch Exchange

Tujuan utamanya adalah untuk mengurangi susut daya. Metode ini dilakukan penataan ulang saluran penghubung antar tiap bus yang terdapat pada penyulang sehingga penataan ulang saluran bisa mendapatkan profil tegangan yang baik dan kerugian daya yang minimal.

Metode ini hanya digunakan pada sistem distribusi dengan topologi jaringan radial. Berikut adalah gambar dari struktur sistem sistem radial :



Gambar 2. Sistem Distribusi Radial

Dari Gambar 2 di atas dapat diketahui bahwa jika *sectionalized switch b = closed*, maka jaringan tersebut

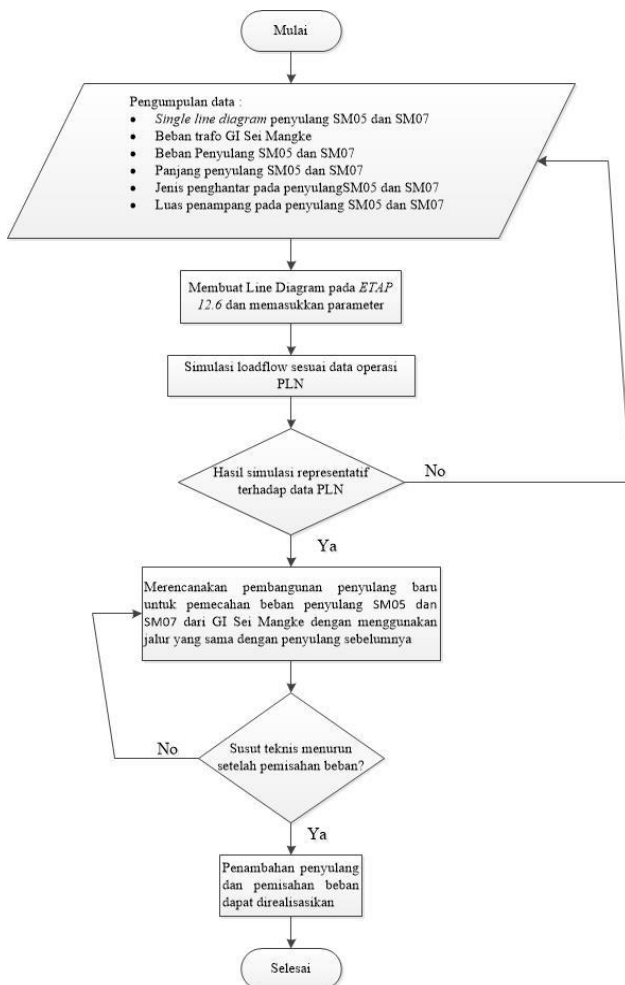
akan terjadi loop. Hal ini bertentangan dengan struktur sistem distribusi radial. Maka tiap *sectionalized switch* di sisi l atau r harus dibuka agar tidak terbentuk loop pada jaringan. [7]

D. Aplikasi ETAP 12.6

ETAP merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan perencanaan sistem kelistrikan yang ada di suatu industri atau wilayah. *Software* ini sangat bermanfaat untuk melakukan berbagai analisis yang sangat membantu untuk mempermudah pekerjaan. Dalam perancangan dan analisis sebuah sistem tenaga listrik, sebuah *software* aplikasi sangat dibutuhkan untuk merepresentasikan kondisi real sebelum sebuah sistem direalisasikan. ETAP merupakan salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik. [8].

III. Metode dan Hasil Penelitian

Diagram Alir Penelitian Sebagai Berikut



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Selanjutnya data dan hasil pengolahan data hasil penelitian sebagai berikut :

A. Konsisi Awal Penyalang SM 05

Panjang keseluruhan jaringan penyalang SM 05 yakni 90.74 Kms dan total gardu distribusi sebanyak 141 buah serta memiliki enam *section*. *Section* 1 menyuplai 44 trafo distribusi, *Section* 2 menyuplai 18 trafo distribusi, *Section* 3 menyuplai 22 trafo distribusi, *Section* 4 menyuplai 26 trafo distribusi, *Section* 5 menyuplai 16 trafo distribusi, dan *Section* 6 menyuplai 15 trafo distribusi.

Data pada Tabel 1 menunjukkan jenis konduktor saluran distribusi yang digunakan pada sistem jaringan penyalang SM 05 yaitu jenis konduktor AAAC dengan variasi ukuran 250 mm² dan 150mm². Terdapat 6 *section* pada penyalang SM 05, dari data Tabel 2. Total keseluruhan susut daya pada penyalang SM 05 saat WBP sebesar 771.8 kW dan saat LWBP sebesar 254.8 kW, sedangkan beban yang dipikul penyalang ini saat WBP adalah 215.2 A dan saat LWBP adalah 124.6 A. Untuk susut distribusi atau susut energi saat WBP sebesar 115.770 kWh dan saat LWBP sebesar 145.236 kWh.

Tabel 1. Data Penghantar Saluran Distribusi SM 05

Section	Lokasi Beban Gardu (Dari – Ke)	Panjang (Km)	R (Ohm)	Penghantar
1	LBS PERLANAAN - LBS LIMAPULUH	14.944	0.1344	AAAC 240 mm ²
2	LBS LIMAPULUH - REC BW	13.565	0.1344	AAAC 240 mm ²
3	REC BW - LBS ANTARA	13.531	0.2162	AAAC 150 mm ²
4	LBS ANTARA - FCO SIMP. LAMA	13.124	0.2162	AAAC 150 mm ²
5	FCO SIMP. LAMA - LBS LIDAH TANAH	13.225	0.2162	AAAC 150 mm ²
6	LBS LIDAH TANAH - UJUNG	12.355	0.2162	AAAC 150 mm ²
	TOTAL	90.744		

Tabel 2. Data Hasil Susut Penyalang SM 05 Sebelum Pisah

Section	Lokasi Beban Gardu (Dari – Ke)	WBP (150 jam/bulan)			LWBP (570 jam/bulan)		
		Beban (A)	Psusut (kW)	Esusut (kWh)	Beban (A)	Psusut (kW)	Esusut (kWh)
1	LBS PERLANAAN - LBS LIMAPULUH	215.2	268.2	40.230	124.6	91.6	52.212
2	LBS LIMAPULUH - REC BW	168.1	150.5	22.575	99.9	53.2	30.324
3	REC BW - LBS ANTARA	145.5	112.1	16.815	79.5	33.9	19.323
4	LBS ANTARA - FCO SIMP. LAMA	123.9	126.5	18.975	67.7	40.6	23.142
5	FCO SIMP. LAMA - LBS LIDAH TANAH	92.7	71.4	10.710	50	21.9	12.483
6	LBS LIDAH TANAH - UJUNG	74.7	43.1	6.465	41.8	13.6	7.752
	Total		771.8	115.770		254.8	145.236

Dilakukan perhitungan manual susut daya menggunakan Persamaan 2 sebagai pembanding hasil simulasi yang telah dilakukan, hasil perhitungan manual susut daya dengan kondisi penyalang SM 05 sebelum pisah beban adalah sebagai berikut :

- Pada saat WBP

Susut daya pada *section* 1, LBS PERLANAAN - LBS LIMAPULUH

$$P = 3 \times 215,2^2 (0,1344) 14.944$$

$$P = 2.076.217 (0,1344)$$

$$P = 279 \text{ kW}$$

Section selanjutnya menggunakan rumus yang sama

$$\text{Psusut total} = 279.0 + 154.6 + 115.5 + 130.7 + 73.7 + 44.7 = 798.2 \text{ kW}$$

- Pada saat LWBP

Susut daya pada *section* 1, LBS PERLANAAN - LBS LIMAPULUH

$$P = 3 \times 124.6^2 (0,1344) 14.944$$

$$P = 696.024 (0,1344)$$

$$P = 93.5 \text{ kW}$$

Section selanjutnya menggunakan rumus yang sama

$$\text{Psusut total} = 93.5 + 54.6 + 34.5 + 39.0 + 21.4 + 14.0 = 257.1 \text{ kW}$$

Simulasi pada jaringan SM05 yang didapat masih dalam kategori berhasil dikarenakan selisih perhitungan dan simulasi tidak jauh berbeda.

Sesuai dengan data hasil simulasi pada Tabel 2 nilai arus penyulang SM 05 adalah 215.2 A (WBP) dan 124.6 (LWBP) maka dari itu daya yang terpakai untuk penyulang SM 05 dapat dihitung menggunakan Persamaan 1

- WBP

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \phi$$

$$P = \sqrt{3} * 20000V * 215.2A * 0.96$$

$$P = 7.156 \text{ kW}$$

- LWBP

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \phi$$

$$P = \sqrt{3} * 20000V * 124.6A * 0.96$$

$$P = 4.143 \text{ kW}$$

- WBP + LWBP

$$P = 11.299 \text{ kW}$$

Maka daya yang terpakai pada penyulang SM 05 adalah hasil penjumlahan dari pemakaian daya saat WBP dan LWBP yaitu 11.299 kW.

B. Konsisi Awal Penyulang SM 07

Panjang keseluruhan jaringan penyulang SM 07 yakni 141.89 kms dan total gardu distribusi sebanyak 157 buah serta memiliki enam *section*. *Section* 1 menyuplai 29 trafo distribusi, *Section* 2 menyuplai 25 trafo distribusi, *Section* 3 menyuplai 27 trafo distribusi, *Section* 4 menyuplai 24 trafo distribusi, *Section* 5 menyuplai 28 trafo distribusi, dan *Section* 6 menyuplai 24 trafo distribusi.

Data pada Tabel 3 menunjukkan jenis konduktor saluran distribusi yang digunakan pada sistem jaringan penyulang SM 05 jenis konduktor AAAC dengan variasi ukuran 250 mm² dan 150mm² hingga 35mm².

Berdasarkan Tabel 4 Terdapat enam *section* yang ada pada penyulang SM 07. Dari data tabel tersebut *section* pertama adalah *section* dengan susut daya yang paling besar pada saat WBP sebesar 300.9 kW dan saat LWBP sebesar 90 kW.

Dilakukan perhitungan manual susut daya menggunakan Persamaan 2 sebagai pembandingan hasil simulasi yang telah dilakukan,

- Pada saat WBP

Susut daya pada *section* 1, LBS LBS BINARIA - SEI BEJANGKAR

$$P = 3 \times 185.9^2 (0,1344) 21.5$$

$$P = 2.229.043 (0,1344)$$

$$P = 299.5 \text{ kW}$$

Untuk *section* selanjutnya dapat dihitung dengan persamaan yang sama, maka susut total adalah

$$\text{Psusut total} = 299.6 + 124.9 + 139.4 + 94.6 + 39.4 + 19 = 716.9 \text{ kW}$$

- Pada saat LWBP

$$\text{Psusut total} = 93.6 + 28.0 + 68.6 + 18.3 + 6.5 + 2.9 = 214.9 \text{ kW}$$

Tabel 3. Data Penghantar Saluran Distribusi SM 07

Section	Lokasi Beban Gardu (Dari – Ke)	Panjang (Km)	R (Ohm)	Penghantar
1	LBS LBS BINARIA - SEI	21.50	0.1344	AAAC 240 mm ²
2	BEJANGKAR LBS SEI	23.35	0.1344	AAAC 240 mm ²
3	BEJANGKAR - SIMP. ES LBS MANGKE-UJUNG	20	0.4608	AAAC 70 mm ²
4	LBS SIMP. ES - LBS PG. BOSI	21.35	0.4608	AAAC 50 mm ²
5	LBS PG. BOSI-FCO SORDANG BOLON FCO	25.35	0.9217	AAAC 35 mm ²
6	SORDANG BOLON-UJUNG	20.33	0.9217	AAAC 35 mm ²
	Total	141.89		

Tabel 4. Data Hasil Penyulang SM 07 Sebelum Pisah Beban

Section	Lokasi Beban Gardu (Dari – Ke)	WBP (150 jam/bulan)			LWBP (570 jam/bulan)		
		Beban (A)	Psusut (kW)	Esusut (kWh)	Beban (A)	Psusut (kW)	Esusut (kWh)
1	LBS LBS BINARIA - SEI	185.9	300.9	45.135	103.9	90.0	51.300
2	BEJANGKAR LBS SEI	115.2	125.1	18.765	54.5	27.5	15.675
3	BEJANGKAR - SIMP. ES LBS MANGKE-UJUNG	71	139.5	20.925	49.8	66.2	37.734
4	LBS SIMP. ES - LBS PG. BOSI	56.6	94.2	14.130	24.9	17.6	10.032
5	LBS PG. BOSI-FCO SORDANG BOLON	23.7	39.5	5.925	9.6	6.4	3.648

6	FCO SORDANG BOLON- UJUNG	18.4	18.7	2.805	7.2	2.8	1.596
Total		717.9	107.685		210.5	119.985	

Sesuai dengan data hasil simulasi pada Tabel 4 nilai beban penyulang SM 07 dipangkal penyulang adalah 185.9 A (WBP) dan 103.9 A (LWBP) maka dari itu daya yang terpakai untuk penyulang SM 07 dapat dihitung menggunakan Persamaan 1

- WBP

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \phi$$

$$P = \sqrt{3} * 20000V * 185.9A * 0.96$$

$$P = 6.182 \text{ kW}$$

- LWBP

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \phi$$

$$P = \sqrt{3} * 20000V * 103.9 * 0.96$$

$$P = 3.455 \text{ kW}$$

- WBP + LWBP

$$P = 9.637 \text{ kW}$$

Daya yang tersalurkan pada penyulang SM 07 adalah 9.637 kW.

C. Analisis Hasil Simulasi Sebelum Pisah Beban

Berdasarkan hasil perhitungan simulasi yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa nilai susut energi yang terjadi pada sistem Jaringan Tegangan Menengah (JTM) Sesuai dengan data hasil simulasi susut energi untuk kedua penyulang adalah 5.864.112 kWh dan nilai energi yang tersalurkan dari GI Sei Mangke untuk kedua penyulang sesuai dengan data PLN adalah 73.769.524 kWh, maka dari itu persentase susut energi yang terjadi pada ULP Lima Puluh dapat dihitung.

a. Penyulang SM 05 (dalam 1 tahun)

$$\text{Eloss WBP} = 115.770 \text{ kWh} \times 12 \text{ bulan} = 1.389.240 \text{ kWh}$$

$$\text{Eloss LWBP} = 145.236 \text{ kWh} \times 12 \text{ bulan} = 1.292.220 \text{ kWh}$$

b. Penyulang SM 07 (dalam 1 tahun)

$$\text{Eloss WBP} = 107.685 \text{ kWh} \times 12 \text{ bulan} = 1.742.832 \text{ kWh}$$

$$\text{Eloss LWBP} = 119.985 \text{ kWh} \times 12 \text{ bulan} = 1.439.820 \text{ kWh}$$

$$\text{Eloss Total} = 1.389.240 \text{ kWh} + 1.292.220 \text{ kWh}$$

$$+ 1.742.832 \text{ kWh} + 1.439.820 \text{ kWh}$$

$$\text{Eloss Total} = 5.864.112 \text{ kWh dalam 1 tahun}$$

$$\% \text{ susut energi} = \left(\frac{5.864.112 \text{ kWh}}{73.769.524 \text{ kWh}} \right) * 100\%$$

$$\% \text{ susut energi} = 7.9 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan persentase susut energi yang terjadi pada ULP Lima Puluh adalah 7.9 %.

D. Kondisi Setelah Penambahan Penyulang

Hal yang dilakukan untuk menekan susut daya pada sistem kelistrikan ULP Lima Puluh dilakukan pemisahan sebagian beban penyulang SM 05 dan SM 07 ke

penyulang baru atau *Express Feeder*. Dengan adanya penambahan penyulang baru, maka beban yang dipikul oleh penyulang SM 05 dan SM 07 akan berkurang. Pemecahan beban dilakukan pada titik LBS Lima Puluh sampai Rec. BW pada penyulang SM 05 dan beban pada LBS Mangke yang ada pada penyulang SM 07 akan dilimpahkan kepada penyulang baru, sehingga akan terjadi perubahan kondisi jaringan pada penyulang SM 05 dan penyulang SM 07. Penyulang baru ini memerlukan kabel sepanjang 10 kms sebagai penghubung saluran dari GI Sei Mangke sampai ke LBS Mangke sehingga panjang keseluruhan saluran untuk penyulang baru 58.509 Kms dan total trafo distribusi sebanyak 67 trafo.

Dengan adanya penambahan penyulang baru, maka beban yang dipikul oleh penyulang SM 05 dan SM 07 akan berkurang. Pemecahan beban dilakukan pada titik beban yang telah dipilih sehingga akan terjadi perubahan kondisi jaringan pada penyulang SM 05 dan penyulang SM 07. Penyulang baru ini memerlukan kabel sepanjang 10 kms sebagai penghubung saluran dari GI Sei Mangke sampai ke LBS Mangke sehingga panjang keseluruhan saluran untuk penyulang baru 58.509 kms.

Tabel 5. Data Hasil Simulasi Penyulang Baru

Section	Lokasi Beban Gardu (Dari - Ke)	WBP (150 jam)			LWBP (570 jam)		
		Beban (A)	Psusut (kW)	Esusut (kWh)	Beban (A)	Psusut (kW)	Esusut (kWh)
1	LBS	67.	124.	18.70	48.	62	35.34
	MANGKE-UJUNG	2	7	5			
2	LBS	58.	20.7	3.105	46.	12.	7.011
	LIMAPULUH	3					
3	-REC BW	36.	7.6	1.140	26.	3.7	2.109
	REC BW-UJUNG	9					
Total			153	22.950		78	44.460

Dilakukan perhitungan manual susut daya menggunakan Persamaan 2 sebagai pembandingan keakuratan hasil simulasi dan perhitungan yang telah dilakukan, hasil perhitungan manual susut daya adalah sebagai berikut :

- Pada saat WBP

Susut daya pada section 1, LBS Mangke- Ujung

$$P = 3 \times 67.2^2 (0,4608) 20$$

$$P = 270.950 (0,4608)$$

$$P = 124.9 \text{ kW}$$

Section selanjutnya menggunakan rumus yang sama

$$Psusut \text{ total} = 124.9 + 20.5 + 7.4 = 152.8 \text{ kW}$$

- Pada saat LWBP

Susut daya pada section 1, LBS Mangke - Ujung

$$P = 3 \times 48.4^2 (0,4608) 20$$

$$P = 140.553 (0,4608)$$

$$P = 64.8 \text{ kW}$$

Section selanjutnya menggunakan rumus yang sama

$$Psusut \text{ total} = 64.8 + 12.9 + 3.8 = 81.4 \text{ kW}$$

Sesuai dengan data hasil simulasi pada tabel 5 nilai beban penyulang baru dipangkal penyulang adalah 185.9

A (WBP) dan 103.9 A (LWBP) maka dari itu daya yang terpakai untuk penyulang baru dapat dihitung menggunakan Persamaan 1

- WBP

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \phi$$

$$P = \sqrt{3} * 20000V * 67.2A * 0.96$$

$$P = 2.235 \text{ kW}$$

- LWBP

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \phi$$

$$P = \sqrt{3} * 20000V * 48.4 * 0.96$$

$$P = 1.610 \text{ kW}$$

- WBP + LWBP

$$P = 3.844 \text{ kW}$$

Maka daya yang terpakai *exp. feeder* yaitu 3.844 kW.

E. Sistem Jaringan Penyulang SM 05 Setelah Pisah Beban

Panjang penyulang SM 05 setelah pemisahan beban menjadi 84.23 kms dan memasok beban ke trafo distribusi sebanyak 101 buah trafo. *Section 1* menyuplai 44 trafo distribusi, *Section 2* menyuplai 26 trafo distribusi, *Section 3* menyuplai 16 trafo distribusi, *Section 4* menyuplai 15 trafo distribusi.

Dengan adanya penambahan penyulang baru yang mengakibatkan pengurangan beban pada penyulang SM 05. Hal ini diproyeksikan untuk mengurangi susut daya yang ada pada penyulang SM 05. Panjang saluran *section 2* dan *section 3* yang dipindahkan ke *Exp. Feeder* adalah 27.09 kms dengan jumlah keseluruhan trafo distribusi 40 buah. Data impedansi, diameter konduktor, dan panjang saluran setelah pemisahan beban ke penyulang baru.

Tabel 6 menunjukkan nilai susut daya dengan simulasi pada penyulang SM 05 Susut daya pada penyulang SM 05 tertinggi berada pada *section 1* yaitu 293.1 kW saat WBP dan 87.1 kW saat LWBP. Susut energi yang ada pada penyulang ini sebesar 80.145 kWh saat WBP dan 91.884 kWh saat LWBP.

Dilakukan perhitungan manual susut daya menggunakan Persamaan 2 sebagai pembandingan hasil simulasi yang telah dilakukan, hasil perhitungan manual susut daya dengan kondisi penyulang SM 05 sebelum pisah beban :

- Pada saat WBP

Susut daya pada *section 1*, LBS PERLANAAN - LBS ANTARA

$$P = 3 * 166.9^2 * (0,1344) * 25.531$$

$$P = 2.133.544(0,1344)$$

$$P = 286.7 \text{ kW}$$

section selanjutnya dihitung dengan persamaan yang sama

$$P_{total} = 286.7 + 123.2 + 69.6 + 42.1 = 521.7 \text{ kW}$$

- Pada saat LWBP

$$P_{total} = 85.4 + 37.8 + 20.8 + 13.6 = 157.6 \text{ kW}$$

Sesuai dengan data hasil simulasi pada tabel 7 nilai beban penyulang SM 05 dipangkal penyulang adalah 166.9 A (WBP) dan 91.1A (LWBP) maka dari itu daya yang terpakai untuk penyulang SM 05 setelah pemisahan beban dapat dihitung menggunakan Persamaan 1

- WBP

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \phi$$

$$P = \sqrt{3} * 20000V * 166.9A * 0.96$$

$$P = 5.550 \text{ kW}$$

- LWBP

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \phi$$

$$P = \sqrt{3} * 20000V * 91.1 * 0.96$$

$$P = 3.030 \text{ kW}$$

$$WBP + LWBP$$

$$P = 8.580 \text{ kW}$$

Energi yang tersalurkan pada Penyulang SM 05 setelah pemisahan beban adalah penjumlahan WBP dan LWBP yaitu 8.580 kW.

Tabel 6. Susut Daya Penyulang SM 05 ULP Lima Puluh

Section	Lokasi Beban Gardu (Dari - Ke)	WBP (150 jam)			LWBP (570 jam)		
		Beban (A)	Psusu (kW)	Esusut (kWh)	Beban (A)	Psusu (kW)	Esusut (kWh)
1	LBS PERLANAAN - LBS ANTARA	166.9	293.1	43.965	91.1	87.1	49.647
2	LBS ANTARA - FCO SIMP. LAMA	120.3	126.1	18.915	66.6	38.2	21.774
3	FCO SIMP. LAMA - LBS LIDAH TANAH	90.1	71.9	10.785	49.3	21.8	12.426
4	LBS LIDAH TANAH - UJUNG	72.5	43.2	6.480	41.2	14.1	8.037
	Total		534.3	80.145		161.2	91.884

F. Sistem Jaringan Penyulang SM 07 Setelah Pemisahan Beban

Panjang penyulang SM 07 setelah pemisahan beban menjadi 121.89 kms dan memasok beban ke trafo distribusi sebanyak 130 buah trafo. *Section 1* menyuplai 29 trafo distribusi, *Section 2* menyuplai 25 trafo distribusi, *Section 3* menyuplai 24 trafo distribusi, *Section 4* menyuplai 28 trafo distribusi, dan *Section 5* menyuplai 24 trafo distribusi.

Dengan adanya penambahan penyulang baru yang mengakibatkan pengurangan beban pada penyulang SM 07 dimana beban pada LBS Mangke – ujung dipindahkan ke *Exp. Feeder*. Hal ini diproyeksikan untuk mengurangi susut daya yang ada pada penyulang SM 07. Panjang saluran LBS Mangke – ujung yang dipindahkan ke *Exp. Feeder* adalah 20 kms dengan jumlah keseluruhan trafo distribusi 27 buah.

Setelah dilakukan simulasi aliran daya maka dapat diketahui susut yang terjadi pada penyulang SM 07. Seperti yang terlihat pada Tabel 7 Susut keseluruhan penyulang SM 07 pada saat WBP adalah 466 kW dan pada saat LWBP 92 kW sedangkan susut terbesar ada pada *section 3* saat WBP yaitu 143.8 kW. Adapun beban

yang dipikul penyulang SM 07 setelah pemisahan beban sebesar 119.2 A, nilai ini sudah jauh berkurang dari sebelum pemisahan beban.

Kemudian dilakukan perhitungan manual susut daya sebagai pembanding hasil simulasi yang telah dilakukan, hasil perhitungan manual :

- Pada saat WBP

Susut daya pada *section 1*, LBS BINARIA - SEI BEJANGKAR

$$P = 3 \times 119.2^2 (0,1344) 21.5$$

$$P = 913.384 (0,1344)$$

$$P = 122.8 \text{ kW}$$

$$P_{total} = 122.8 + 133.8 + 142.4 + 42.8 + 20.5 = 462.2 \text{ kW}$$

- Pada saat LWBP

Susut daya pada *section 1*, LBS BINARIA - SEI BEJANGKAR

$$P = 3 \times 54.5^2 (0,1344) 21.5$$

$$P = 191.581(0,1344)$$

$$P = 25.7 \text{ kW}$$

$$P_{total} = 25.7 + 27.5 + 25.8 + 6.6 + 2.9 = 88.5$$

Tabel 7. Susut Daya Sistem Distribusi Penyulang SM 07

Section	Lokasi Beban Gardu (Dari - Ke)	WBP (150 jam/bulan)			LWBP (570 jam/bulan)		
		Beban (A)	Psusut (kW)	Esusut (kWh)	Beban (A)	Psusut (kW)	Esusut (kWh)
1	LBS BINARIA - SEI BEJANGKAR	119.2	123.9	18.585	54.5	26.9	15.333
2	LBS SEI BEJANGKAR - SIMP. ES	119	135.1	20.265	54	28.5	16.245
3	LBS SIMP. ES - LBS PG. BOSI	58.7	143.8	21.570	25	26.9	15.333
4	LBS PG. BOSI - FCO SORDANG BOLON	24.7	42.6	6.390	9.7	6.7	3.819
5	FCO SORDANG BOLON - UJUNG	19.1	20.6	3.090	7.2	3	1.710
	Total		466	69.900	92	52.440	

Data hasil simulasi pada Tabel 7 nilai beban penyulang SM 07 dipangkal penyulang adalah 119.2 A (WBP) dan 54.5A (LWBP) maka dari itu daya yang terpakai untuk penyulang SM 07 dapat dihitung menggunakan Persamaan 1

- WBP

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \phi$$

$$P = \sqrt{3} * 20000V * 119.2A * 0.96$$

$$P = 3.964 \text{ kW}$$

- LWBP

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \phi$$

$$P = \sqrt{3} * 20000V * 54.5 * 0.96$$

$$P = 1.812 \text{ kW}$$

- WBP + LWBP

$$P = 5.776 \text{ kW}$$

Daya yang tersalurkan pada SM 07 adalah 5.776 kW.

G. Analisis Hasil Simulasi Setelah Pisah Beban

Dilakukan perhitungan persentase susut energi dan susut daya pada ULP Lima Puluh setelah pemisahan

beban, perhitungan persentase dapat dilihat sebagai berikut :

- Penyulang Baru (dalam 1 tahun)

$$\text{Eloss WBP} = 22.950 \text{ kWh} \times 12 \text{ bulan} = 275.400 \text{ kWh}$$

$$\text{Eloss LWBP} = 44.460 \text{ kWh} \times 12 \text{ bulan} = 533.520 \text{ kWh}$$

- Penyulang SM 05 (dalam 1 tahun)

$$\text{Eloss WBP} = 80.145 \text{ kWh} \times 12 \text{ bulan} = 961.740 \text{ kWh}$$

$$\text{Eloss LWBP} = 91.884 \text{ kWh} \times 12 \text{ bulan} = 1.102.608 \text{ kWh}$$

- Penyulang SM 07

$$\text{Eloss WBP} = 69.900 \text{ kWh} \times 12 \text{ bulan} = 838.800 \text{ kWh}$$

$$\text{Eloss LWBP} = 52.440 \text{ kWh} \times 12 \text{ bulan} = 629.280 \text{ kWh}$$

$$\text{Eloss Total} = 4.341.348 \text{ kWh (dalam 1 tahun)}$$

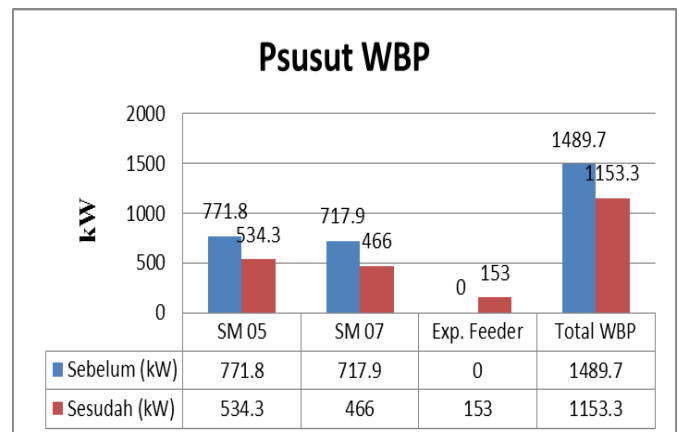
Persentase susut energi pada ULP Lima Puluh adalah

$$\% \text{ susut energi} = \left(\frac{4.341.343 \text{ kWh}}{73.769.524 \text{ kWh}} \right) * 100\%$$

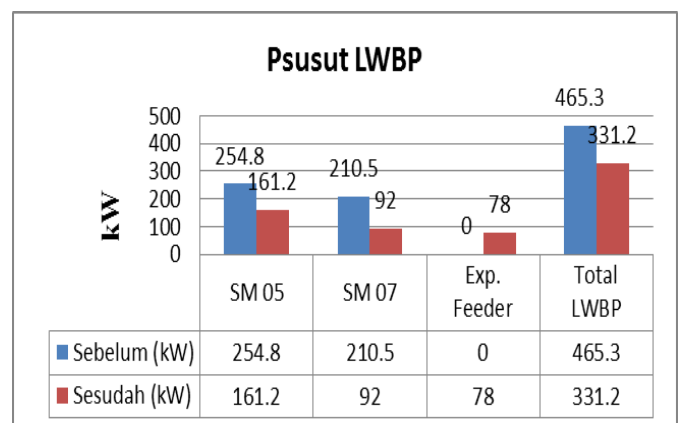
$$\% \text{ susut energi} = 5.9 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan persentase susut energi yang terjadi pada ULP Lima Puluh adalah 5.9 %.

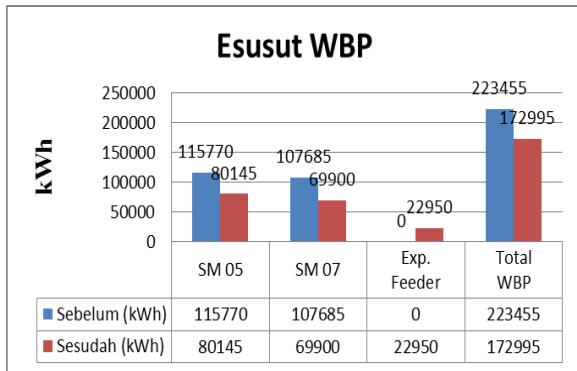
H. Perbandingan Sistem Jaringan Sebelum Dan Sesudah Pemisahan Beban



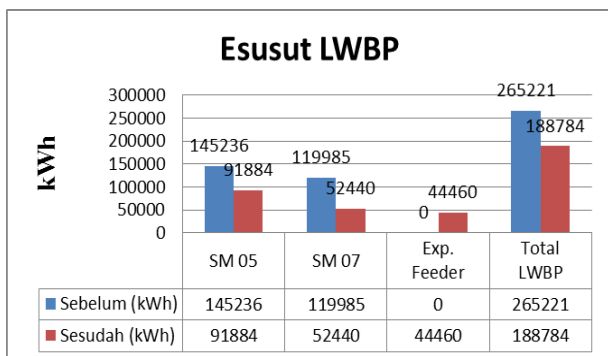
Gambar 3. Grafik Perbandingan Susut Daya Sebelum dan Sesudah saat WBP



Gambar 4. Grafik Perbandingan Susut Daya Sebelum dan Sesudah saat LWBP



Gambar 5. Grafik Perbandingan Susut Energi Sebelum dan Sesudah saat WBP



Gambar 6. Grafik Perbandingan Susut Energi Sebelum dan Sesudah saat LWBP

Perbandingan susut daya sebelum setelah dilakukannya pemisahan beban dapat dilihat Gambar 3 dan Gambar 4. Berdasarkan gambar grafik perbandingan ini dapat diketahui bahwa setelah dilakukan pemisahan beban pada setiap penyulang nilai susut daya mengalami perbaikan. Grafik berwarna merah lebih kecil dibandingkan dengan grafik yang berwarna biru yang membuktikan bahwa nilai susut daya pada beban mengalami penurunan. Berdasarkan grafik perbandingan ini dapat diketahui bahwa setelah dilakukan pemisahan beban nilai susut daya mengalami penurunan. Nilai susut daya secara total awalnya sebesar 1489.7kW (WBP) dan 465.3 kW (LWBP) kemudian mengalami penurunan menjadi 1153.3 kW (WBP) dan 331.2 kW (LWBP). Hasil ini membuktikan bahwa setelah dilakukan pemisahan beban terjadi penurunan susut daya sebesar 336,5 kW saat WBP dan 134,1 kW saat LWBP.

Perbandingan susut energi sebelum setelah dilakukannya pemisahan beban dapat dilihat Gambar 5 dan Gambar 6. Berdasarkan gambar grafik perbandingan ini dapat diketahui bahwa setelah dilakukan pemisahan beban pada tiap penyulang nilai susut energi mengalami penurunan. Nilai susut energi secara total awalnya sebesar 223.455 kWh (WBP) 265.221 kWh (LWBP) kemudian mengalami penurunan menjadi 172.955 kWh (WBP) dan 188.784 (LWBP). Hasil ini membuktikan bahwa setelah dilakukan pemisahan beban pada setiap penyulang terjadi

penurunan susut energi sebesar 50.500 kWh (WBP) dan 76.784 (LWBP).

I. Estimasi Biaya Investasi Penambahan Penyulang Dan Pemisahan Beban serta Break Even Point

Pada penelitian ini penambahan penyulang memerlukan biaya untuk penambahan kabel penghantar SKT-TM (Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah) dengan panjang 12 kms untuk penyulang SM 05 dan 10 kms untuk *Exp feeder*. Biaya penambahan kawat penghantar diestimasikan Rp.1.000.000.000,- per kms, biaya sudah termasuk biaya pemasangan, pemasangan penambahan kabel penghantar untuk penelitian ini sebagai berikut

Kabel XPLE 240mm ² untuk Penyulang SM 05	12 kms	Rp. 1.000.000.000,- per kms	Rp. 12.000.000.000,-
Kabel XPLE 240mm ² untuk <i>Exp. Feeder</i>	10 kms	Rp. 1.000.000.000,- per kms	Rp. 10.000.000.000,-
Total	22 kms		Rp. 22.000.000.000,-

Biaya yang dibutuhkan untuk penambahan kabel penghantar sebesar Rp. 22.000.000.000,-. Biaya yang tertera sudah termasuk jasa pemasangan instalasi dan yang lainnya.

$$\text{Susut energi} = 223.455 \text{ kWh} + 265.221 \text{ kWh} = 488.676 \text{ kWh}$$

Susut energi sesudah penambahan penyulang saat WBP + LWBP

$$\text{Susut energi} = 172.955 \text{ kWh} + 188.784 \text{ kWh} = 361.779 \text{ kWh}$$

Selisih antara sebelum dan sesudah penambahan penyulang

$$\text{Susut energi} = 488.676 \text{ kWh} - 361.779 \text{ kWh} = 126.897 \text{ kWh}$$

Berdasarkan perhitungan susut energi antara sebelum dan sesudah yaitu sebesar 126.897 kWh, nilai ini merupakan susut energi bisa dihemat. Jika, di estimasikan biaya per-kWh sebesar Rp. 1.465,-

$$126.897 \text{ kWh/bulan} \times 12 \text{ bulan} = 1.522.764 \text{ kWh/tahun}$$

$$1.522.764 \text{ kWh/tahun} \times \text{Rp. 1.465,-} = \text{Rp. 2.230.849.260,- kWh}$$

Melakukan penambahan penyulang dan pemisahan beban pada sistem jaringan tegangan menengah ULP Lima Puluh akan menghemat pemakaian listrik sebesar 1.522.764 kWh/tahun atau Rp. 2.230.849.260,- dengan pemakaian listrik 5jam/hari saat WBP dan 19jam/hari saat LWBP.

Berdasarkan data diatas, biaya yang dikeluarkan untuk penyulang baru yaitu sebesar Rp. 22.000.000.000,-. Pendapatan atau penghematan selama 1 tahun sebanyak Rp. 2.230.849.260,- sehingga :

Investasi dibagi dengan pendapatan selama 1 tahun

$$\frac{\text{Rp. 22.000.000.000, -}}{\text{Rp. 2.230.849.260, -}} = 9.9 \text{ tahun}$$

Waktu yang diperlukan untuk memperoleh kembali biaya investasi yang telah dikeluarkan yaitu 9.9 tahun.

IV. Kesimpulan

1. Pada kondisi awal, berdasarkan hasil simulasi *Software ETAP 12.6* susut daya dan susut energi pada ULP Lima Puluh adalah sebesar 1.955 kW dan 5.864.112 kWh.
2. Dengan adanya penambahan *Exp. Feeder* dan pemisahan beban, nilai susut pada ULP Lima Puluh berkurang sebesar 470.5 kW untuk susut daya dan 1.522.764 kWh untuk susut energi.
3. Terjadi penurunan angka susut daya dan energi pada ULP Lima Puluh setelah penambahan penyulang dan pemisahan beban menggunakan metode *simple branch exchange* dengan besar susut 1.955 kW dan 5.864.112 kWh menjadi 1.484,5 kW dan 4.341.348 kWh.

Referensi

- [1] ULP Lima Puluh. 2019. *Data Susut Energi*. Sumatera Utara : ULP Lima Puluh
- [2] Yuana Dewi, Arfita. Asnal Effendi, dkk. 2017. *Analisis Dampak Pemecahan Beban Feeder Tiku Terhadap Susut Teknis Jaringan Tegangan Menengah*. Padang : Institut Negeri Padang.
- [3] Waluyo, dkk. 2007. *Perhitungan Susut Daya Pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah Saluran Udara Dan Kabel*. Jurnal Sains dan Teknologi EMAS. Vol.17 No.3. Bandung: Itenas Bandung.
- [4] Nugroho, Aditya A., 2020, Analisis Pengaruh Penambahan Penyulang MSR 13 Untuk Menengah Jatuh Tegangan Dan Rugi Daya Pada Penyulang SRN 03, FT Universitas Muhammadiyah Surakarta
- [5] Gustiawan, Rahmat. 2018. *Analisis Susut Daya Interkoneksi PLTM Hutaraja 2x2,5MW Terhadap Sistem Distribusi Siborong-Borong Sumatera Utara*. Bengkulu : Universitas Bengkulu.
- [6] Nandya. Made. 2014. *Pemodelan Dan Simulasi Pemisahan Beban Pada Sistem Distribusi 20 Kv Berdasarkan Prioritas*. Depok : Universitas Indonesia.
- [7] Zhu, Jizhong. 2015. *Optimization of Power System Operation*. Canada.
- [8] Multa P Lesnanto, Restu Prima Aridani. 2013. *Modul Pelatihan ETAP*. Yogyakarta : Jurusan Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada.
- [9] Fikri, M., Anggaini, D., 2018. Metode Newton Raphson Untuk Analisis Aliran Daya Jaringan Distribusi 12,66 kV. Jurnal Ilmiah SUTET, Vol. 8, No. 2, Juli-Desember 2018, P-ISSN 2356-1505, E-ISSN 2656-9175
- [10] Sugianto, Untara. P., 2019. Studi Susut Energi Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik Melalui Analisis Pengukuran Dan Perhitungan. Jurnal Sinusoida Vol. XXI No. 2, April 2019 ISSN 1411 – 4593, Program Studi Teknik Elektro – ISTN