

Analisa Rugi Daya Berbasis ETAP pada Jaringan Distribusi 20kV Penyulang Ahuru

Rizky Wulandari Pratiwi¹, Marceau A F Haurissa²

^{1,2} Politeknik Negeri Ambon

¹rizkywulandary14@gmail.com, ²haurissamarceau@gmail.com

Abstract-The process of delivering electrical energy through the distribution network to the load will experience power losses, especially in radial distribution networks. Ahuru repeater is a repeater with a very long radial system. The length of the Ahuru feeder line from the base of the Sirimau GI source to the end of the load in Wayomar Seri is 33.91 kms, therefore it is necessary to analyze how much technical power loss is in the 20 kV medium voltage distribution network on the Ahuru feeder. The longer the distribution line, the greater the voltage drop and technical power loss on the distribution line. Technical electrical energy losses need to be known and anticipated to be within normal and reasonable limits according to SPLN. Power loss analysis is carried out using ETAP simulation with the newton raphson method option, where the single line diagram (SLD) of the ahuru extension is designed according to real data into the ETAP application. The results obtained after running ETAP 12.6 found the power loss value of Ahuru repeater in normal conditions amounted to 295.1kW or 7.48%, at peak load time (WBP) of 271.9kW or 6.76%, and outside peak load time (LWBP) of 209.1kW or 6.25%. Based on the results of this analysis, it is obtained that the amount of technical power loss has exceeded the percentage of SPLN. After making system improvements in ETAP and simulating load flow, the technical power loss data obtained as a result of improvements at peak load time (WBP) amounted to 166kW or 4.13% which still meets the power loss percentage limit according to SPLN No. 72 of 1987 which is 5%.

Keywords: Power Loss; Distribution Line; Ahuru Substation/feeder

Abstrak-Proses penyaluran energi listrik melalui jaringan distribusi ke beban akan mengalami rugi-rugi daya terutama pada jaringan distribusi radial. Penyulang ahuru adalah termasuk penyulang dengan sistem radial yang sangat panjang. Panjang saluran peyulang Ahuru dari pangkal sumber GI Sirimau hingga ke ujung beban di Wayomar Seri adalah 33,91 kms, oleh sebab itu perlu dilakukan analisa berapa besar rugi daya teknis pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV pada penyulang ahuru. Semakin panjang saluran distribusi semakin besar drop tegangan dan rugi daya teknis pada saluran distribusi tersebut. Kehilangan energi listrik secara teknis perlu diketahui dan diantisipasi agar berada dalam batas yang normal dan wajar sesuai SPLN. Analisa rugi daya dilakukan menggunakan simulasi ETAP dengan pilihan metode newton raphson, dimana *single line diagram* (SLD) penyulang ahuru didisain sesuai data *real* kedalam aplikasi ETAP. Hasil penelitian diperoleh setelah running ETAP 12.6 didapati nilai rugi-rugi daya penyulang ahuru pada kondisi normal sebesar 295,1kW atau 7,48%, pada waktu beban puncak (WBP) sebesar 271,9kW atau 6,76%, dan luar waktu beban puncak (LWBP) sebesar 209,1kW atau 6,25%. Berdasarkan hasil analisa tersebut diperoleh besar rugi daya teknis telah melebihi presentase dari SPLN. Setelah melakukan perbaikan sistem pada ETAP dan melakukan simulasi load flow, diperoleh data rugi daya teknis hasil perbaikan pada waktu beban puncak (WBP) sebesar 166kW atau sebesar 4,13% yang mana masih memenuhi batas presentase rugi daya sesuai SPLN No. 72 tahun 1987 yaitu sebesar 5%.

Kata Kunci : Rugi Daya; Saluran Distribusi; Penyulang/feeder Ahuru

I. PENDAHULUAN

Rugi-rugi pada jaringan adalah selisih antara kWh yang disalurkan dengan kWh yang diproduksi ke pelanggan. Disini tampak jelas bahwa PLN distribusi mengalami kerugian akibat rugi-rugi tersebut. Secara garis besar rugi-rugi dapat dikategorikan menjadi dua yaitu rugi-rugi teknis dan Rugi-rugi non teknis. Rugi-rugi teknis adalah rugi-rugi yang disebabkan oleh sifat dari material atau peralatan jaringan, luas penampang penghantar, jarak dan factor kerja. Sedangkan rugi-rugi non teknis adalah rugi-rugi yang disebabkan oleh kesalahan pemasangan dan kerusakan dari material atau peralatan jaringan serta pencurian aliran listrik. [1]

Pendistribusian energi listrik, rugi-rugi daya seringkali menjadi permasalahan yang ditimbulkan oleh luas penampang yang menyebabkan terjadinya penurunan tegangan yang melebihi dari batas toleransi yang diijinkan. [2]

Di dalam transmisi tenaga listrik kehilangan energi perlu di prediksi dan di analisa agar tidak melebihi batas wajar. Kehilangan energi yang berupa rugi daya sulit untuk di hindari. oleh karena itu Besar daya yang hilang saat proses transmisi harus di analisa dan diantisipasi, sehingga daya yang hilang masih dalam batas yang di

perbolehkan.[3]

Besarnya rugi-rugi daya pada saluran distribusi tergantung pada jenis dan panjang saluran penghantar, tipe jaringan distribusi, tipe beban, faktor daya dan besarnya jumlah daya terpasang serta banyaknya pemakaian beban-beban yang bersifat induktif yang menyebabkan meningkatnya kebutuhan daya reaktif. [4]

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) Merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real time. [5]

Proses penyaluran energi listrik melalui jaringan distribusi ke beban pasti mengalami rugi daya teknis dalam saluran yang dapat berubah menjadi energi panas dan mengurangi daya listrik. Rugi-rugi daya teknis pada jaringan distribusi tenaga listrik disebabkan oleh arus yang mengalir melalui konduktor atau penghantar. Panjang saluran distribusi tenaga listrik menjadi perhatian, karena semakin panjang saluran distribusi menyebabkan kerugian daya yang semakin besar. Penyulang ahuru merupakan penyulang terpanjang yang disuplai dari GI Sirimau, sehingga menarik untuk diteleiti seberapa besar terjadi rugi daya teknis pada penyulang tersebut. Panjang saluran penyulang Ahuru dari pangkal sumber GI Sirimau hingga ke ujung beban di Wayomar Seri adalah 33,91 kms. Sehingga diprediksi terjadi rugi-rugi daya yang belum diketahui, apakah masih dalam batas-batas yang diizinkan atau melampaui batas standar yang ditentukan. Oleh karena itu perlu dilakukan analisa aliran daya untuk mengetahui seberapa besar terjadi rugi-rugi teknis pada penyulang Ahuru.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi

Sistem Distribusi Listrik Primer adalah Jaringan Sistem Tenaga Listrik yang dikelompokkan sebagai jaringan tegangan menengah yaitu sebesar 20 kV jaringan ini pada dasarnya dipergunakan untuk menyalurkan listrik dari pusat pembangkitan atau bisa disebut sebagai Gardu Induk listrik menuju ke Pusat Beban dengan berupa melalui Saluran Udara maupun Tanah. Jaringan ini memiliki beberapa macam model yaitu Jaringan Radial, Jaringan Hantaran Penghubung, Jaringan Spindel dan Jaringan Loop.[6]

2.2 Rugi-Rugi Daya

Rugi-rugi daya adalah berkurang daya masukan yang terjadi pada suatu penghantar atau kawat yang dilalui arus listrik. Kerugian daya dalam saluran listrik berbanding lurus terhadap panjang saluran dan beban, namun berbanding terbalik terhadap luas penampang saluran. Persamaan rugi-rugi daya dapat dituliskan sebagai berikut :[7]

$$\Delta P = \left(\frac{P^2}{V^2 \cdot \cos \varphi} \right) R \quad (1)$$

Dimana :

ΔP adalah Rugi-Rugi Daya (W)

V adalah Tegangan (V)

R adalah Hambatan Penghantar (Ω)

$\cos \varphi$ adalah Faktor Daya

P adalah Daya

Prosentase rugi-rugi daya diperoleh besar atau total rugi-rugi daya bagi daya yang tersalurkan dikalikan seratus persen, sebagai berikut :

$$(\%) = \frac{\text{Rugi-rugi Daya}}{\text{Daya Tersalurkan}} \times 100\% \quad (2)$$

Penggunaan sebuah persamaan untuk menentukan besar rugi – rugi daya pada saluran 3 fasa yang dinyatakan sebagai berikut :[8]

$$P_{\text{losses}} = 3I^2 \cdot R \quad (3)$$

dimana :

P_{losses} = rugi-rugi daya (watt)

I = arus yang di salurkan (Amper)

R = tahanan saluran (Ω / meter)

2.3 Resistansi Saluran (R)

Resistansi dari penghantar saluran distribusi adalah penyebab yang utama dari rugi daya (losses) pada saluran distribusi. Resistansi *direct-current* (RDC) diberikan dengan rumus:

$$R_{dc} = \frac{\text{Power Loss dalam konduktor}}{I^2} (\Omega) \quad (4)$$

Dimana :

P : resistivity konduktor ($\Omega.m$)

I : panjang konduktor (m)

A : cross sectional area (mm^2)

Nilai resistivity konduktor pada 330system330330ure 20°C : untuk tembaga, $\rho = 10,66 \Omega.cmil/ft$ atau $= 1,77 \times 10^{-8}\Omega$ dan Untuk aluminium, $\rho = 17 \Omega.cmil/ft$ atau $= 2,83 \times 10^{-8}\Omega$.

Konduktor pilin 3 standar menyebabkan kenaikan resistansi sebesar 1%. Konduktor dengan standar terkonsentrasi (concentrically stranded conductors), menyebabkan kenaikan resistansi 2%. Pengaruh kenaikan temperatur terhadap resistansi dapat ditentukan dari rumus berikut :[9]

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{T_0+t_2}{T_0+ t_2} \quad (5)$$

Dimana R1 dan R2 adalah resistansi masing-masing konduktor pada temperatur t1 dan t2, dan T adalah suatu konstanta yang nilainya sebagai berikut :

T = 234,5 untuk tembaga dengan konduktivitas 100%

T = 241 untuk tembaga dengan konduktivitas 97,3%

T = 228 untuk aluminium dengan konduktivitas 61%.

2.4 Studi Aliran Daya

Perhitungan aliran daya pada dasarnya adalah menghitung besar tegangan dan sudut fasa setiap bus pada kondisi tunak dan dengan beban seimbang. Hasil perhitungan ini dilakukan untuk mengukur daya aktif dan daya reaktif yang mengalir pada jaringan, besarnya daya aktif dan daya reaktif yang harus dibangkitkan pada stasiun pembangkit, serta rugi-rugi daya pada jaringan. Setiap bus dalam sistem tenaga listrik dikelompokkan menjadi 3 tipe bus, yaitu:

1. Bus beban (bus PQ), pada bus beban variabel yang diketahui adalah daya aktif dan daya Reaktif, sedangkan besar tegangan dan sudut fasanya dihitung.
2. Bus generator (bus P-V), pada bus generator variabel yang diketahui adalah besar tegangan dan daya aktif , sedangkan sudut fasa tegangan dan daya reaktif dihitung.
3. Bus referensi, pada bus referensi variabel yang diketahui adalah besar tegangan dan sudut fasanya, sudut fasa pada bus referensi menjadi acuan untuk sudut fasa tegangan pada bus yang lain.

Study aliran daya untuk menghitung rugi-rugi daya menggunakan metode *Newton Raphson*. Untuk menerapkan metode *Newton Raphson* pada penyelesaian persamaan aliran daya kita menyatakan tegangan bus dan admitansi saluran dalam bentuk polar, seperti pada Persamaan (6) dan (7).[10]

$$P_i = V_i^* \sum_{n=1}^n Y_{in} V_n \quad (6)$$

$$Q_i = -Im\{V_i^* \sum_{n=1}^n Y_{in} V_n\} \quad (7)$$

dimana P_i adalah besar daya aktif pada bus ke-i; Q_i adalah besar daya reaktif pada bus ke-i; V_i^* adalah besar tegangan pada bus ke-i; V_n adalah besar tegangan pada bus ke-n; dan Y_{in} adalah besar admitansi antara bus ke-i dan bus ke-n.

Hasil perhitungan daya menggunakan Persamaan (6) dan (7) akan diperoleh nilai $P_i^{(k)}$ dan $Q_i^{(k)}$. Hasil ini digunakan untuk menghitung nilai $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta P_i^{(k)} = P_{i spec} - P_{i calc}^{(k)} \quad (8)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_{i spec} - Q_{i calc}^{(k)} \quad (9)$$

Dimana $P_{i calc}^{(k)}$ adalah besar daya aktif perhitungan pada bus ke-i; $P_{i spec}$ adalah besar daya aktif yang diketahui pada bus ke-i; $Q_{i spec}^{(k)}$ adalah besar daya reaktif perhitungan pada bus ke-i; $Q_{i spec}$ besar daya reaktif yang diketahui pada bus ke-i. Hasil perhitungan Persamaan (8) dan (9) digunakan untuk membentuk matriks Jacobian, persamaan matriks Jacobian dapat dilihat pada Persamaan (10).

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(k)} \\ \Delta |V|^{(k)} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Setelah nilai $\Delta \delta_i^{(k)}$ dan $\Delta |V|^{(k)}$ didapat, kita dapat menghitung nilai tersebut untuk iterasi berikutnya, yaitu dengan menambahkan nilai $\Delta \delta_i^{(k)}$ dan $\Delta |V|^{(k)}$, sehingga diperoleh Persamaan (11) dan (12).

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (11)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (12)$$

Hasil perhitungan Persamaan (11) dan (12) digunakan lagi untuk proses iterasi selanjutnya, yaitu dengan memasukkan nilai ini ke dalam Persamaan (6) dan (7) sebagai langkah awal perhitungan aliran daya. Proses ini dilakukan terus menerus yaitu n-iterasi sampai diperoleh nilai yang konvergen.

2.5 Electric Transient and Analysis Program (ETAP)

Electric Transient and Analysis Program (ETAP) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung simulasi sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, *online* untuk pengolahan data real-time. Fitur yang terdapat pada software *ETAP* bermacam-macam antara lain fitur yang dapat digunakan untuk menganalisa pembangkit tenaga listrik, sistem transmisi, maupun distribusi tenaga listrik.

Perangkat lunak *ETAP* ini awalnya dibuat dikembangkan untuk meningkatkan kualitas keamanan fasilitas nuklir di amerika serikat selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen sistem secara real-time, simulasi kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik dalam bentuk single linediagram secara grafis untuk berbagai bentuk analisis, load flow (aliran daya), short circuit (hubung singkat), starting motor, transient stability, optimal capacitor placement, protective device coordination (koordinasi relayproteksi), sistem harmonisa, dan cable derating. Kelengkapan data dari setiap komponen atau peralatan listrik pada sistem dapat mendekati keadaan operasional sebenarnya. Adapun beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam membuat proyek dengan menggunakan *ETAP*, yaitu :[4]

1. *Single line diagram*, menunjukkan hubungan antara komponen atau peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
2. *Library*, merupakan informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail dapat mempermudah serta memperbaiki hasil simulasi.
3. Standar yang digunakan, mengacu pada standar *IEC* dan *ANSI*. Perbedaan antara *IEC* dan *ANSI* terletak pada standar frekuensi yang digunakan berdasarkan spesifikasi peralatan yang digunakan. Pada standar *IEC* nilai frekuensi yang digunakan 50 Hz, sedangkan pada standar *ANSI* nilai frekuensi yang digunakan adalah 60Hz.
4. *Study case*, berisikan parameter-parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format analisa (Data primer *software ETAP*).

III. METODE

Penelitian dilakukan pada jaringan distribusi tegangan menengah 20kV penyulang Ahuru GI. Sirimau dengan melakukan studi literatur, pengumpulan data teknis, observasi dan melakukan wawancara. Setelah data terkumpul secara akurat, data tersebut dimasukkan ke dalam aplikasi *ETAP* untuk dilakukan studi aliran daya agar dapat melakukan analisa rugi-rugi daya pada penyulang Ahuru.

Proses memasukan data ke *ETAP* dimulai dengan mendisain *SLD (single line diagram)* kemudian memasukan data detail sesuai parameter yang dibutuhkan untuk studi aliran daya. Dalam melakukan analisa aliran daya pada aplikasi *ETAP* digunakan metode *Newton Rhapson*. Hasil simulasi *ETAP* kemudian dilakukan analisa untuk memperoleh hasil perhitungan rugi daya teknis pada jaringan tegangan menengah 20 kV penyulang Ahuru. Hasil studi aliran daya dilakukan untuk kondisi luar waktu beban puncak (*LWBP*), waktu beban puncak (*WBP*), kondisi terpasang dan setelah perbaikan sistem.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Penyulang dan Hasil Simulasi *ETAP*

Gardu Induk (GI) Sirimau memiliki 2 Bay Line, 2 Bay Trafo 70 kV, 1 Bay Trafo 150 kV dan 1 Bay Interbus Transformator (IBT). Memiliki 2 trafo daya 70 kV merk Unindo dengan Kapasitas trafo 2x20 MVA, Trafo daya 150 kV serta Trafo Interbus Transformator (IBT) merk CG dengan kapasitas 50MVA. Gardu Induk (GI) Sirimau menyuplai 6 penyulang diantaranya yaitu, pada Trafo1 GI Sirimau terdapat penyulang Karpan 2, Manusela dan Tantai Atas. Sedangkan pada Trafo2 GI Sirimau terdapat penyulang Stain01, Karpan1 dan Ahuru. Penyulang Ahuru melayani wilayah yang menuju pinggiran kota Ambon seperti desa Mahia, desa Kilang, desa Latuhalat dll. Panjang saluran peyulang Ahuru dari pangkal sumber GI Sirimau hingga ke ujung beban Mercusuar di Latuhalat adalah 74,126 kms.

Terdapat 119 Gardu Distribusi yang aktif di penyulang Ahuru, sedangkan jenis penghantar yang digunakan penyulang Ahuru yaitu jenis AAAC dengan diameter 35mm², 50mm², 70mm², 150mm² dan jenis AAAC-S dengan diaameter 70mm², 150mm², 240mm² dapat ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2 berikut :

TABEL 1
JENIS PENGHANTAR AAAC

Jenis Penghantar	Diameter Penghantar	Kuat Hantar Arus
AAAC	35 mm ²	170 A
AAAC	50 mm ²	210 A
AAAC	70 mm ²	255 A
AAAC	150 mm ²	425 A

Sumber : (SPLN 64:1985 Tabel VIII)

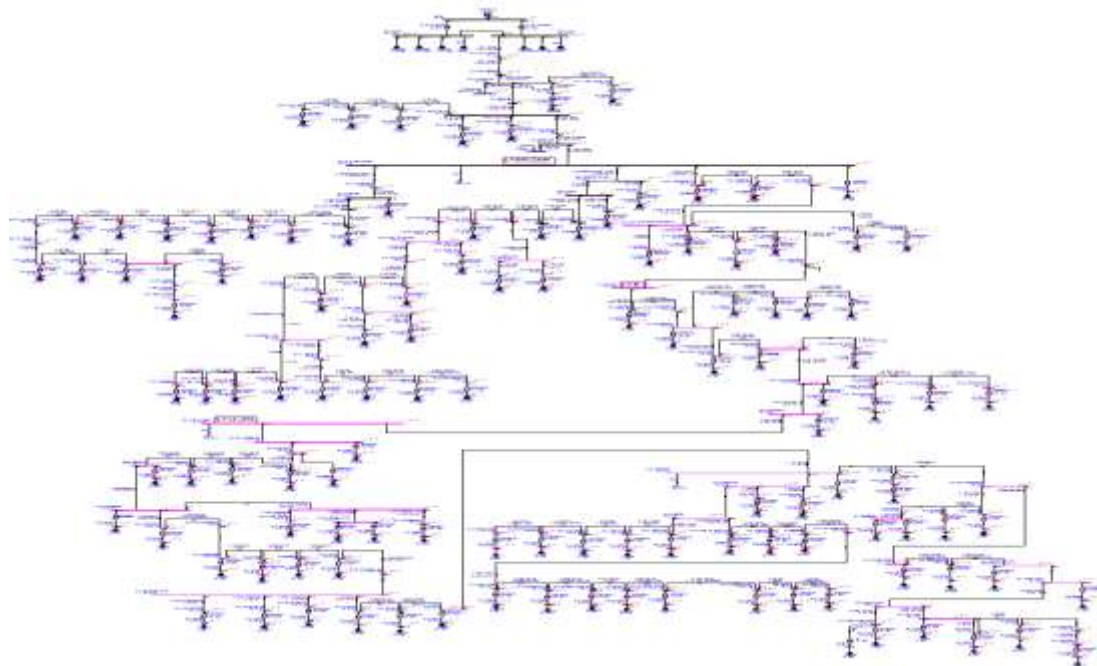
TABEL 2
JENIS PENGHANTAR AAAC-S

Jenis Penghantar	Diameter Penghantar	Kuat Hantar Arus	
		30°C	40°C
AAAC-S	70 mm ²	275 A	246 A
AAAC-S	150 mm ²	423 A	378 A
AAAC-S	240 mm ²	586 A	532 A

Sumber : (SPLN 41-10:1991)

Komponen yang digunakan dalam rangkaian SLD epnelitian ini adalah *Power Grid/Generator*, Transformator, Busbar, Kabel, Switch, Recloser, Fuse, dan Beban (*Lump Load*). Pengaturan simulasi peringatan diperlukan nilai batasan tegangan dengan menggunakan batas critical dan marginal yang telah ditentukan berdasarkan standar PLN (SPLN 1;1995) dimana batas critical tegangan yang diatur dalam simulasi yaitu + 5% (Over Voltage) dan -10% (Under Voltage) dan untuk batas marginal tegangan yaitu +2% (Over Voltage) dan -5% (Under Voltage). Critical merupakan keadaan suatu komponen kelistrikan yang bermasalah dan segera dilakukan penanganan, sedangkan marginal merupakan keadaan suatu komponen kelistrikan yang hampir mendekati critical tetapi masih ada toleransi namun tetap menjadi perhatian.

Hasil simulasi SLD penyulang ahuru pada ETAP ditampilkan dalam gambar 1.



Gambar 1. Hasil simulasi penyulang Ahuru menggunakan ETAP

4.2 Rugi-rugi daya eksisting dengan beban terpasang

Gambar 2 adalah potongan gambar hasil report manajer dari simulasi ETAP dan dilakukan pada kondisi beban terpasang. Hasil *Load Flow Report Manager (losses)* sebesar 295,2 kW.

CKT / Branch ID	From-To Bus Flow	To-From Bus Flow	Losses kW	% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	MW	MW		From	To	
L-METRO	-0.061	0.061	0.0	97.2	97.2	0.00
L-MH01	-0.048	0.048	0.0	97.2	97.2	0.00
L-SEREUNGO	0.015	-0.015	0.0	97.2	97.2	0.00
L-SILALE3 70mm	0.815	-0.814	1.0	95.7	95.5	0.18
L-SILALE3 35mm	0.789	-0.792	0.2	95.2	95.4	0.04
L-SOYA ATS 70mm	-0.038	0.038	0.0	97.2	97.2	0.00
L-WAINENEE2	0.994	-0.994	0.2	95.9	95.9	0.02
			295.2			

Gambar 2. Losses summary report kondisi eksisting dengan beban terpasang

Berdasarkan hasil *report manajer* Total nilai rugi daya (*Losses*) penyulang Ahuru pada kondisi beban terpasang adalah sebesar 295,2 kW atau sebesar 7,48%.

Diperoleh dengan perhitungan :

$$\begin{aligned}
 (\%) &= \frac{\text{Rugi-rugi daya}}{\text{Daya tersaturkan}} \times 100\% \\
 &= \frac{295,2 \text{ kW}}{3947 \text{ kW}} \times 100\% \\
 &= 7,48\%
 \end{aligned}$$

Dari hasil simulasi rugi – rugi daya kondisi normal pada penyulang Ahuru mencapai 7,48 % melebihi batas variasi presentase pelayanan akibat losses yang sesuai SPLN No. 72 tahun 1987 sebesar 5%.

4.3 Rugi-rugi daya eksisting pada kondisi LWBP

Hasil simulasi ini dilakukan pada kondisi luar waktu beban puncak dan diketahui hasil rugi daya pada *Load Flow Report Manager (losses)* seperti pada gambar 3 dibawah ini.

CKT / Branch ID	From-To Bus Flow	To-From Bus Flow	Losses kW	% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	MW	MW		From	To	
L-METRO	-0.052	0.052	0.0	97.1	97.1	0.00
L-MH01	-0.024	0.024	0.0	98.1	98.1	0.00
L-SEREUNGO	0.013	-0.013	0.0	98.1	98.1	0.00
L-SILALE3 70mm	0.692	-0.692	1.0	96.6	96.4	0.14
L-SILALE3 35mm	0.674	-0.674	0.2	96.4	96.4	0.02
L-SOYA ATS 70mm	-0.040	0.040	0.0	98.1	98.1	0.00
L-WAINENEE2	0.542	-0.542	0.2	96.8	96.6	0.02
			209.1			

Gambar 3. Losses summary report luar waktu beban puncak

Dari hasil running *Load FlowAnalys* penyulang Ahuru diperoleh :

Total nilai rugi daya (*Losses*) penyulang Ahuru pada kondisi luar waktu beban puncak adalah sebesar 209,1 kW atau sebesar 6,25%

Diperoleh dengan perhitungan :

$$\begin{aligned}
 (\%) &= \frac{\text{Rugi-rugi daya}}{\text{Daya tersaturkan}} \times 100\% \\
 &= \frac{209,1 \text{ kW}}{3346 \text{ kW}} \times 100\% \\
 &= 6,25\%
 \end{aligned}$$

Dari hasil simulasi rugi – rugi daya kondisi luar waktu beban puncak pada penyulang Ahuru mencapai 6,25% telah melewati batas variasi presentase pelayanan akibat losses yang sesuai SPLN No. 72 tahun 1987 sebesar 5%

4.4 Rugi-rugi daya eksisting pada kondisi WBP

Hasil simulasi pada gambar 4 dilakukan pada kondisi waktu beban puncak sehingga memperoleh hasil rugi daya pada *Load Flow Report Manager (losses)* seperti pada potongan gambar berikut:

CKT / Branch ID	From-To Bus Flow	To-From Bus Flow	Losses kW	% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	MW	MW		From	To	
L-METRO	-0.062	0.062	0.0	97.3	97.3	0.00
L-MH01	-0.041	0.041	0.0	97.6	97.6	0.00
L-SEREUNGO	0.016	-0.016	0.0	97.6	97.6	0.00
L-SILALE3 70mm	0.832	-0.830	1.5	95.7	95.5	0.18
L-SILALE3 35mm	0.809	-0.808	0.2	95.2	95.2	0.04
L-SOYA ATS 70mm	-0.026	0.026	0.0	97.6	97.6	0.00
L-WAINENEE2	1.015	-1.014	0.2	96.0	95.9	0.02
			271.9			

Gambar 4. Losses summary report waktu beban puncak

Dari hasil running *Load Flow Analys* penyulang Ahuru diperoleh :

Total nilai rugi daya (*Losses*) penyulang Ahuru pada kondisi waktu beban puncak adalah sebesar 271,9 kW atau sebesar 6,76%

Diperoleh dengan perhitungan :

$$\begin{aligned}(\%) &= \frac{\text{Rugi-rugi daya}}{\text{Daya tersalurkan}} \times 100\% \\ &= \frac{271,9 \text{ kW}}{4024 \text{ kW}} \times 100\% \\ &= 6,76\%\end{aligned}$$

Dari hasil simulasi rugi – rugi daya kondisi waktu beban puncak pada penyulang Ahuru mencapai 6,76% melebihi batas variasi presentase pelayanan akibat losses yang sesuai SPLN No. 72 tahun 1987 sebesar 5%

4.5 Rugi-rugi daya pada kondisi simulasi perbaikan sistem

Faktor-faktor terjadinya rugi daya dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu faktor korona, kebocoran isolator, jarak dan diameter penampang kabel. Perbaikan dapat dilakukan untuk memperbaiki kualitas jaringan yang dapat berpengaruh untuk mengurangi nilai rugi daya, jatuh tegangan dan rugi daya pada penyulang Ahuru masih dapat dikurangi dengan di perhatikan jarak antara gardu, karena semakin jauh jarak antara gardu semakin besar jatuh tegangan. Semakin besar jatuh tegangan maka semakin besar rugi-rugi daya.

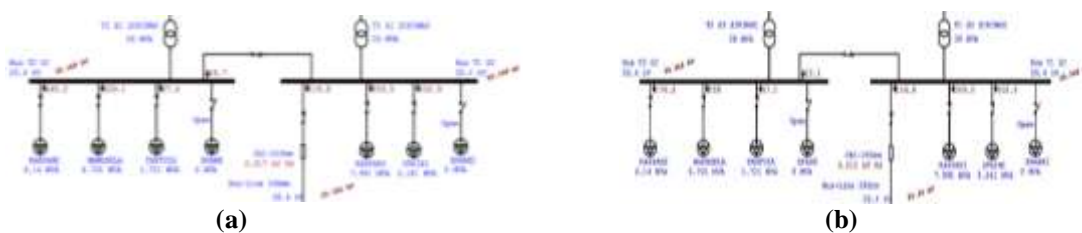
Komponen-komponen yang diperbaiki secara simulasi ETAP adalah :

TABEL 3
KOMPONEN DISTRIBUSI PENYUMBANG *LOSSES* TERBESAR YANG DI PERBAIKI

Komponen yg di Perbaiki	Losses sebelum Perbaikan (kW)	Losses setelah Perbaikan (kW)
Trafo T1 GI Sirimau 20MVA ke 30MVA	68,3	25
Trafo T2 GI Sirimau 20MVA ke 30MVA	68,3	25
Line Cbl-150mm ² ke 240mm ²	16,8	9,8
Line LBS GDNG-150mm ² ke 240mm ²	13	7,8
L-Panorama TV-150mm ² ke 240mm ²	7,1	3,8

1. Trafo 1 dan 2 GI Sirimau

Trafo1 dan Trafo2 GI Sirimau memiliki rugi daya teknis (*losses*) tertinggi pada waktu beban puncak yaitu masing-masing sebesar 68,3kW. Trafo1 memiliki kapasitas sebesar 20MVA. dengan total beban dari 3 penyulang sebesar 15,079MVA. Dan untuk Trafo2 memiliki kapasitas sebesar 20MVA dengan total beban dari 3 penyulang sebesar 14,562MVA. Setelah melakukan perbaikan dengan menambahkan kapasitas Trafo1 dan Trafo2 dari 20MVA menjadi 30MVA maka tegangan awal pada bus T1 dan T2 sebesar 20,169kV naik menjadi 20,342kV atau sebesar 0,85% dan rugi daya (*losses*) pada Trafo1, Trafo2 berkurang dari 68,3kW menjadi 25kW atau sebesar 63,3%.



Gambar 5. Potongan SLD Trafo 1 dan 2 GI Sirimau,
(a) Trafo1 GI Sirimau sebelum perbaikan, (b) Trafo2 GI Sirimau setelah perbaikan

2. Kabel (Cbl-150mm²)

Cbl-150mm² adalah saluran dengan jenis kabel AAAC 150mm² yang memiliki panjang jaringan dari pangkal GI Sirimau sebesar 2,18kms. Rugi daya teknis (*losses*) pada Cbl-150mm² sebesar 16,8 kW. Faktor penyebab *losses* diantaranya yaitu panjang saluran dan diameter kabel.



Gambar 6. Kondisi sebelum dan sesudah perbaikan Cbl-150mm², (a) sebelum perbaikan, (b) setelah perbaikan

3. Kabel LBS Gudang

Rugi daya teknis (*losses*) pada L-LBS Gudang sebesar 13 kW. Faktor penyebab *losses* diantaranya yaitu panjang saluran dan diameter kabel. Setelah dilakukan perbaikan dengan menambah diameter pada kabel L-LBS Gudang menjadi 240mm², maka *voltage drop* awal sebesar 0,0898kV berkurang menjadi 0,0198kV atau sebesar 78,6% sehingga tegangan di bus lbs gudang awal sebesar 19,924kV naik menjadi 20,259kV atau sebesar 1,35% sehingga ikut mempengaruhi rugi daya (*losses*) berkurang dari 13kW menjadi 7,8kW atau sebesar 40%.



Gambar 7. Kabel L-LBS GDNG sebelum dan setelah perbaikan, (a) sebelum perbaikan, (b) setelah perbaikan

4. Kabel Panorama TV

Rugi daya teknis (*losses*) pada Line Panorama TV sebesar 7,1kW. Faktor penyebab *losses* diantaranya yaitu panjang saluran dan diameter kabel. Setelah dilakukan perbaikan dengan menambah diameter pada kabel line panorama tv menjadi 240mm², maka *voltage drop* awal sebesar 0,054kV berkurang menjadi 0,029kV atau sebesar 78,6% sehingga tegangan di bus L-panorama awal sebesar 19,866kV naik menjadi 20,228kV atau sebesar 1,78%. Sedangkan untuk rugi daya teknis (*losses*) berkurang dari 7,1kW menjadi 3,8kW atau sebesar 46,4%.



Gambar 8. Kabel L-Panorama TV sebelum dan setelah perbaikan, (a) sebelum perbaikan, (b) setelah perbaikan

Setelah dilakukan perbaikan pada komponen-komponen yang memiliki *losses* tertinggi pada penyulang Ahuru maka didapatkan hasil sebagai berikut:

CKT / Branch	From-To Bus Flow		Losses	% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	MW	MW		From	To	
L-METRO	-0.002	0.002	0.0	99.1	99.1	0.00
L-MH01	-0.041	0.041	0.0	99.2	99.2	0.00
L-SEREUNG	0.016	-0.016	0.0	99.2	99.2	0.00
L-SILALES 70mm	0.856	-0.834	2.0	97.8	97.7	0.12
L-SILALES 35mm	0.812	-0.811	0.4	97.7	97.7	0.02
L-SOYATAIS 70mm	-0.036	0.036	0.0	99.2	99.2	0.00
L-WAINDHERI	1.020	-1.018	0.4	98.0	98.0	0.02
			166.0			

Gambar 9. Losses summary report setelah perbaikan

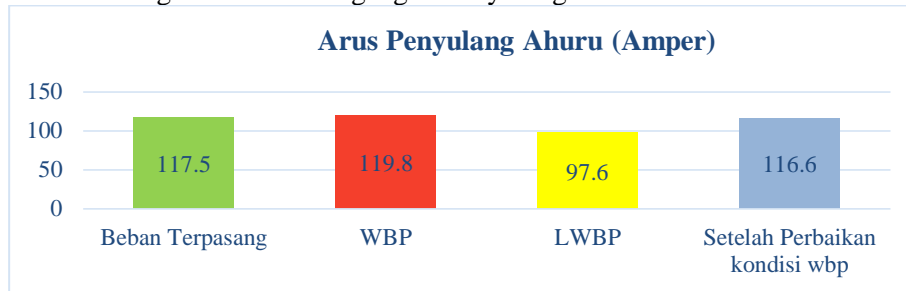
Dari hasil running *Load FlowAnalys* penyulang Ahuru diperoleh total nilai rugi daya (*Losses*) penyulang Ahuru pada kondisi waktu beban puncak setelah perbaikan adalah sebesar 166 kW atau sebesar 4,13%

Diperoleh dengan perhitungan :

$$\begin{aligned}(\%) &= \frac{\text{Rugi-rugi daya}}{\text{Daya tersalurkan}} \times 100\% \\ &= \frac{166 \text{ kW}}{4019 \text{ kW}} \times 100\% \\ &= 4,13\%\end{aligned}$$

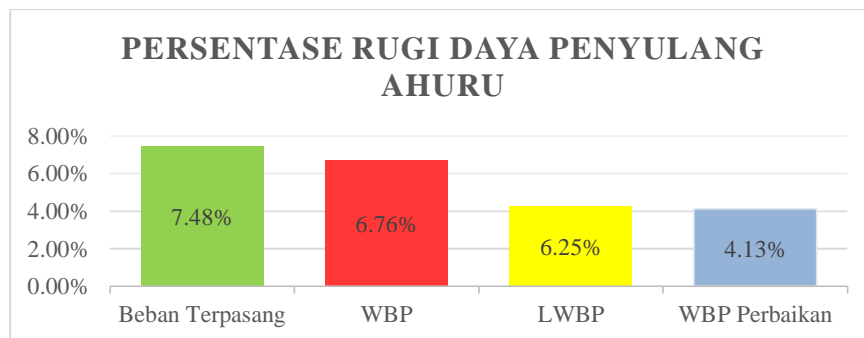
Rugi daya awal pada kondisi waktu beban puncak sebesar 271,9 kW berkurang menjadi 166kW atau berkurang sebesar 38,9% setelah perbaikan. Dari hasil simulasi rugi-rugi daya kondisi waktu beban puncak pada penyulang Ahuru setelah perbaikan mencapai 4,13% masih memenuhi batas variasi presentase pelayanan akibat losses yang sesuai SPLN No. 72 tahun 1987 sebesar 5%.

Berikut ini Garfik Perbandingan Arus dan Tegangan Penyulang Ahuru.



Gambar 10. Grafik Arus Penyulang Ahuru

Berikut ini grafik Perbandingan *Losses* Penyulang Ahuru.



Gambar 11. Perbandingan Persentase Losses Penyulang Ahuru

Pada gambar diatas diketahui besar *losses* penyulang Ahuru kondisi nominal sebesar 7,48%, waktu beban puncak sebesar 6,76%, luar waktu beban puncak 6,25% dan mengalami penurunan setelah dilakukan perbaikan jaringan sebesar 4,13% yang mana masih memenuhi batas variasi presentase pelayanan akibat losses yang sesuai SPLN No. 72 tahun 1987 sebesar 5%.

V. PENUTUP

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa rugi-rugi daya pada penyulang Ahuru, dapat disimpulkan bahwa rugi-rugi daya penyulang Ahuru pada kondisi beban terpasang sebesar 295,1kW atau 7,48%, kondisi WBP sebesar 271,9kW atau 6,76%, kondisi LWBP sebesar 209,1kW atau 6,25% dan kondisi WBP pasaca perbaikan sistem sebesar 166kW atau sebesar 4,13%. Rugi – rugi daya yang besar diakibatkan panjang saluran penyulang Ahuru sangat panjang sehingga berpengaruh pada keandalan jaringan, semakin jauh panjang jaringan distribusi maka semakin besar nilai rugi – rugi daya. Hasil running setelah perbaikan pada beberapa komponen dengan losses tertinggi mengalami penurunan sebesar 166kW atau sebesar 4,13% yang mana masih memenuhi batas presentase pelayanan akibat losses yang sesuai SPLN No. 72 tahun 1987 sebesar 5%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Sugianto, A. Jaya, and B. A. Ashad, "Analisis Rugi-Rugi Daya Jaringan Distribusi Penyulang POLDA Area Makassar Utara Dengan ETAP 12.6," *PROtek J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 1, pp. 51–54, 2020, doi: 10.33387/protk.v7i1.1690.
- [2] A. I. Adfin, Erhaneli, S. Bandri, and Z. Anthon, "Analisa Rugi-Rugi Daya Dan Drop Tegangan Pada PT. PLN (PERSERO) Gardu Hubung Panti ULP Lubuk Sikaping Gardu Hubung Panti Ulp Lubuk Sikaping," *Semin. Nas. Multidisiplin Ilmu*, vol. 3, no. 1, pp. 17–23, 2022.

- [3] J. T. Manalu, S. M. Panggabean, J. Napitupulu, J. Sinaga, and Jumari, "Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Distribusi Tegangan Menengah 20 Kv Di PT.PLN (Persero) UP3 Sibolga," *J. Teknol. Energi Uda J. Tek. Elektro*, vol. 12, no. 1, pp. 14–23, 2023.
- [4] A. Nizar, "Analisis Rugi Daya Menggunakan Etap Pada Jaringan Distribusi 20Kv Penyulang Bagong," *J. Tek. Elektro*, vol. 10, pp. 195–202, 2021.
- [5] M. K. Darmawan, "Analisa Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Etap Software," vol. 2, no. 1, pp. 1–9, 2022.
- [6] U. Faruq, A. Ridho, M. Vrayulis, and E. Julio, "Analisa Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik menggunakan ETAP 12.6," *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 6, no. 1, pp. 16–22, 2021, doi: 10.31849/sainetin.v6i1.7031.
- [7] R. S. Distribusi *et al.*, "Desember 2018 I Putu Arya Suardika, I Gede Dyana Arjana," vol. 5, no. 2, pp. 231–238, 2018.
- [8] R. Rifal, S. B. Utomo, and M. Haddin, "Analisis Perhitungan Rugi-Rugi Daya pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Gardu Induk Tambak Lorok – Bawen dengan menggunakan Etap 12.6.0," *Pros. Konf. Ilm. Mhs. Unissula Klaster Eng.*, vol. 0, no. 0, pp. 234–243, 2020, [Online]. Available: <http://lppm-unissula.com/jurnal.unissula.ac.id/index.php/kimueng/article/view/8592>
- [9] D. N. Setiawan, "Analisis Susut Daya Listrik Pada Penyulang 20 Kv Gardu Induk Wonogiri," 2018.
- [10] R. Gano and Z. Pane, "Yang Terinterkoneksi Dengan Distributed Generation (Studi Kasus : Penyulang Pm . 6 Gi Pematang Siantar)," no. 1, pp. 13–18.