

# Analisis Rugi Daya dan Jatuh Tegangan Sistem Distribusi PT PLN ULP Bengkalis Penyulang Banten Rc Meskom Menggunakan ETAP

Bagas Prasetyo<sup>1</sup>, Marzuarman<sup>2</sup>, Stephan<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Politeknik Negeri Bengkalis, Riau, Indonesia  
<sup>2</sup>Politeknik Negeri Bengkalis, Riau, Indonesia  
<sup>3</sup>Politeknik Negeri Bengkalis, Riau, Indonesia

*email: bagas7tyo@gmail.com<sup>1</sup>, marzuarman@polbeng.ac.id<sup>2</sup>, stephan@polbeng.ac.id<sup>3</sup>*

**Intisari** - Sistem distribusi tenaga listrik berfungsi menyalurkan energi dari gardu ke konsumen. Penelitian ini mengevaluasi kinerja penyulang Banten segmen Rc Meskom milik PT PLN (Persero) ULP Bengkalis menggunakan simulasi ETAP dan perhitungan manual, dengan analisis pada beban, tegangan, arus, rugi-rugi daya, dan *drop voltage*. Hasil simulasi menunjukkan sebagian besar bus berada dalam batas aman, namun terdapat *overload* pada Lump ZUL 2 dan BKL038 sebesar 107,5 % dengan drop voltage 5,68 %. Rugi-rugi daya simulasi tercatat 12,08 kW pada trafo dan 2,161 kW pada penghantar (1,72 % dari 836 kW), sedangkan perhitungan manual menunjukkan 13,05 kW (1,62 % dari 802 kW). Drop voltage simulasi sebesar 72,03 V (0,35 %) dan manual 195,6 V (0,95 %) pada 20,58 kV, menunjukkan simulasi memberikan estimasi lebih efisien dan detail. Hasil ini dapat menjadi acuan teknis peningkatan efisiensi dan keandalan sistem distribusi listrik.

**Kata Kunci** – Sistem distribusi, rugi-rugi daya, *Drop Voltage*, keandalan

**Abstract** - *The electric power distribution system functions to deliver energy from substations to consumers. This study evaluates the performance of the Banten feeder, RC Meskom segment, owned by PT PLN (Persero) ULP Bengkalis using ETAP simulation and manual calculations, analyzing load, voltage, current, power losses, and voltage drop. The simulation results show most buses within safe limits, but overloads occur at Lump ZUL 2 and BKL038 at 107.5% with a 5.68% voltage drop. Power losses from the simulation were 12.08 kW in transformers and 2.161 kW in conductors (1.72% of 836 kW), while manual calculations showed 13.05 kW (16.2 % of 802 kW). Voltage drop from the simulation was 72.03 V (0.35%) and manual calculation 195.6 V (0.95%) at 20.58 kV, indicating the simulation provides a more efficient and detailed estimate. These results can serve as a technical reference to improve the efficiency and reliability of the distribution system.*

**Keywords** – *Distribution System, power losses, Voltage Drop, reliability*

## I. PENDAHULUAN

Sistem distribusi adalah sistem yang paling dekat dengan beban atau pelanggan dalam sistem suplai energi listrik sehingga sistem ini mendapat perhatian lebih dibandingkan sistem pembangkitan dan transmisi, terutama oleh pihak pelanggan. Beberapa bentuk rangkaian sistem distribusi adalah *radial*, *loop*, maupun jaringan (*grid*). Akan tetapi, secara umum bentuk rangkaian sistem distribusi adalah radial. Kelemahan dari sistem distribusi radial dibandingkan loop dan grid adalah bahwa beban yang disuplainya rentan terhadap pemadaman apabila terjadi gangguan. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya suplai pendukung yang bisa menggantikan apabila suplai utama terputus. Sedangkan keuntungannya adalah biaya investasinya yang relatif lebih sedikit dibandingkan tipe yang lain [5].

Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang sangat penting bagi kehidupan modern, digunakan untuk menggerakkan peralatan rumah tangga, industri, dan sektor lainnya.

Perkembangan teknologi dan kebutuhan masyarakat membuat permintaan energi listrik terus meningkat, sehingga pengelolaan dan distribusi energi listrik yang andal menjadi hal yang sangat krusial [3].

Dalam proses penyaluran energi listrik terhadap konsumen, PT PLN (Persero) sering mengalami kendala yang dapat menyebabkan kerugian yang disebut susut. Kerugian yang terjadi diakibatkan karena adanya perbedaan energi yang dihasilkan oleh pembangkit dengan energi yang disalurkan ke konsumen. Penyusutan teknis adalah penyusutan yang terjadi sebagai akibat adanya impedansi pada peralatan pembangkitan maupun peralatan penyaluran dalam transmisi dan distribusi sehingga terdapat daya yang hilang berupa panas [8].

Jaringan distribusi di Pulau Bengkalis menggunakan sistem *isolated grid* yang hanya disuplai dari PLTD tanpa adanya jaringan transmisi. Dengan demikian, alur kelistrikan pada sistem ini dimulai dari pembangkit yang dinaikkan tegangannya melalui transformator *step-up* ke tegangan menengah, kemudian disalurkan melalui jaringan distribusi, diturunkan kembali tegangannya melalui transformator distribusi (*step-down*), dan akhirnya disalurkan ke pelanggan atau konsumen.

*Electric Transient and Analysis Program* (ETAP) merupakan perangkat lunak yang mendukung analisis sistem tenaga listrik, baik untuk simulasi secara *offline*, pengelolaan data *real-time*, maupun pengendalian sistem secara langsung. Perangkat ini memiliki berbagai fitur untuk menganalisis pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi, dan sistem distribusi tenaga listrik. Awalnya, ETAP dikembangkan untuk meningkatkan kualitas keamanan fasilitas nuklir di Amerika Serikat, lalu berkembang menjadi sistem pemantauan, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik [6].

Terjadinya jatuh tegangan pada saluran di suatu lokasi disebabkan oleh adanya perbedaan tegangan di dalam suatu sistem daya, yang juga dipengaruhi oleh resistansi, reaktansi, dan impedansi pada saluran. Jatuh tegangan adalah selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman dengan tegangan pada ujung penerimaan tenaga listrik [4].

Berdasarkan kondisi tersebut, permasalahan yang dihadapi pada jaringan distribusi di Pulau Bengkalis meliputi tingginya rugi-rugi daya akibat panjang saluran dan ukuran penghantar yang kurang optimal, penurunan tegangan yang signifikan pada ujung jaringan karena pengaruh resistansi dan reaktansi, serta ketiadaan jalur suplai cadangan akibat penerapan sistem radial. Selain itu, keterbatasan kapasitas pembangkit PLTD sebagai satu-satunya sumber energi listrik berpotensi menyebabkan beban berlebih pada kondisi puncak, sedangkan pemodelan teknis berbasis simulasi yang dapat memberikan gambaran akurat mengenai aliran daya, rugi-rugi, dan tegangan jatuh masih belum dimanfaatkan secara optimal.

## II. METODE

### 2.1. Kajian Literatur

#### A. Sistem Distribusi

Sistem distribusi adalah sistem yang paling dekat dengan beban atau pelanggan dalam sistem suplai energi listrik sehingga sistem ini mendapat perhatian lebih dibandingkan sistem pembangkitan dan transmisi terutama oleh pihak pelanggan. Beberapa bentuk rangkaian sistem distribusi adalah radial, loop maupun jaringan (grid). Akan tetapi, secara umum bentuk rangkaian sistem distribusi adalah radial. Kelemahan dari sistem distribusi radial dibandingkan loop dan grid adalah bahwa beban yang disuplainya rentan terhadap pemadaman apabila terjadi gangguan. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya suplai pendukung yang bisa menggantikan apabila suplai utama terputus. Sedangkan keuntungannya adalah biaya investasinya yang relatif lebih sedikit dibandingkan tipe yang lain [5].

B. *Daya Listrik*

Daya aktif atau daya nyata adalah daya sebenarnya yang dibutuhkan oleh beban. Daya aktif menunjukkan adanya aliran energi listrik dari pembangkit listrik ke jaringan beban untuk dapat dikonversikan menjadi energi lain. Satuan daya aktif adalah Watt (W) [1].

Untuk menentukan daya aktif :

$$P = V.I \cos\theta \tag{1}$$

Keterangan:

P = Daya aktif (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Daya semu atau daya total (S), atau apparent power, adalah hasil perkalian antara tegangan efektif (*root-mean-square*) dengan arus efektif (*root-mean-square*). Satuan dari daya semu adalah Volt Ampere (VA) [1].

Untuk menentukan daya semu :

$$S = V.I \tag{2}$$

Keterangan:

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan (V)

I = Arus

C. *Energi Listrik*

Energi listrik merupakan salah satu hal yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Energi listrik sangat dibutuhkan dalam beberapa sektor, yaitu sektor rumah tangga, industri, bisnis, dan umum. Energi listrik menjadi kebutuhan pokok di zaman modern ini karena hampir semua aktivitas manusia akan berhubungan dengan energi listrik. PT PLN (Perusahaan Listrik Negara) merupakan perusahaan penyedia tenaga listrik yang dibentuk oleh pemerintah dan diberi hak serta tanggung jawab untuk mengelola dan mendistribusikan tenaga listrik melalui suatu kuasa usaha karena energi listrik merupakan salah satu hal yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Di negara berkembang seperti Indonesia, aktivitas yang membutuhkan konsumsi energi listrik dari waktu ke waktu terus mengalami peningkatan. Dijelaskan bahwa konsumen adalah setiap orang atau badan yang membeli tenaga listrik dari pemegang izin usaha penyedia tenaga listrik, dan pada ayat 6 dijelaskan bahwa usaha penjualan tenaga listrik adalah kegiatan usaha listrik kepada konsumen. Berdasarkan peraturan pemerintah tersebut, hubungan antara konsumen dengan pihak penyedia tenaga listrik sangatlah penting. PT PLN selaku lembaga penyedia dan penyalur utama listrik ke masyarakat secara tidak langsung menjadi tulang punggung kesejahteraan hidup dan kemajuan perekonomian Indonesia [3].

Untuk menentukan energi listrik :

$$E = \frac{P \times t}{1000} \tag{3}$$

Keterangan:

E = Energi (kWh)

P = Daya aktif (W)

t = Waktu

#### D. Penghantar

Penghantar yaitu suatu media yang berfungsi untuk menyalurkan arus listrik dari satu titik ke titik yang lain. Penghantar ini adalah bahan konduktor yang biasanya terbuat dari aluminium atau tembaga. Penghantar yang digunakan dapat berupa kawat berisolasi atau kabel. Ada juga penghantar tanpa isolasi seperti BC (*Bare Conductor*) penghantar berlubang (*Hollow Conductor*), ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*), AAC (*All Aluminium Conductor*), AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*), A3CS (*All Aluminium Alloy Conductor Solution*), dan ACAR (*Aluminium Conductor Alloy Reinforced*) [4].

Untuk menentukan tahanan penghantar [2].

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (4)$$

Keterangan:

$\rho$  = resistivitas bahan ( $\Omega\text{m}$ )

$L$  = panjang penghantar

$A$  = luas penampang

#### E. Susut Teknis

Dalam proses penyusutan energi listrik terhadap konsumen PT PLN (Persero) sering mengalami kendala yang dapat menyebabkan kerugian yang disebut susut. Kerugian yang terjadi diakibatkan karena adanya perbedaan energi yang dihasilkan oleh pembangkit dengan energi yang disalurkan ke konsumen.

Penyusutan teknis adalah penyusutan yang terjadi sebagai akibat adanya impedansi pada peralatan pembangkitan maupun peralatan penyaluran dalam transmisi dan distribusi sehingga terdapat daya yang hilang berupa panas [8].

Untuk menentukan susut penghantar [10].

$$\Delta P = 3 \times I^2 \times R \quad (5)$$

Keterangan :

$\Delta P$  = susut daya pada penghantar (watt)

$R$  = resistansi total penghantar (ohm)

$I$  = arus beban rata-rata (A)

Untuk menentukan persentase susut [7].

$$Losses = \frac{P_x - P_p}{P_x} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan :

$P_x$  = energi yang disalurkan

$P_p$  = energi listrik terpakai

#### F. ETAP

*Electrical Transient and Analysis Program* (ETAP) 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. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas keamanan fasilitas nuklir di Amerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara real time, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik [6].

G. Tegangan Jatuh

Terjadinya tegangan jatuh pada saluran di suatu lokasi yaitu disebabkan oleh bagian yang berbeda tegangan di dalam suatu sistem daya tersebut dan juga dipengaruhi oleh resistansi, reaktansi, dan impedansi pada saluran. Jatuh tegangan pada saluran yaitu selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman dengan tegangan pada ujung penerimaan tenaga listrik [4].

Untuk menentukan jatuh tegangan :

$$\Delta V = I (R \cos \theta + X \sin \theta) \tag{7}$$

Keterangan :

$\Delta V$  = jatuh tegangan (Volt)

$I$  = Arus (A)

$R$  = tahanan saluran (ohm)

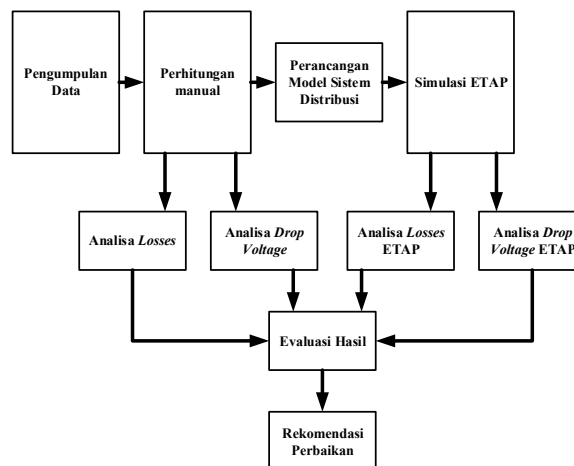
$\theta$  = sudut dari faktor daya beban

Untuk mencari persentase jatuh tegangan :

$$\% \Delta V = \left( \frac{\Delta V}{V_{in}} \right) \times 100\% \tag{8}$$

2.2 Metode Penelitian

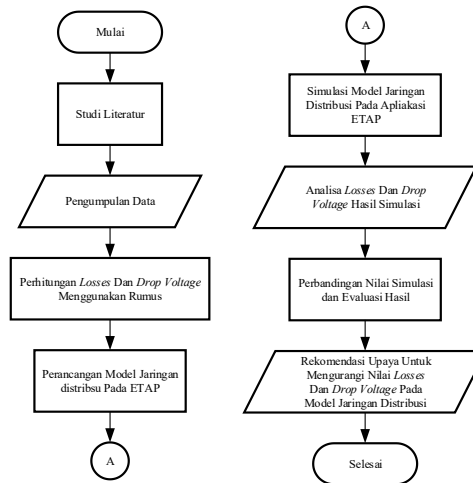
Metode penelitian ini diawali dengan pengumpulan data spesifikasi komponen jaringan distribusi listrik, mencakup panjang jaringan, jenis penghantar, luas penampang, tegangan, beban, dan parameter teknis lainnya. Data diperoleh dari dokumen teknis serta observasi lapangan di wilayah kerja PT PLN (Persero) ULP Bengkalis. Selanjutnya dilakukan perhitungan manual daya aktif, reaktif, dan semu pada sisi keluaran trafo, yang kemudian dimasukkan ke aplikasi ETAP sebagai parameter simulasi. Model sistem distribusi dibangun berdasarkan diagram satu garis setelah *recloser*, terdiri dari sumber, *recloser*, saluran distribusi, trafo distribusi, dan beban. Analisis *load flow* ETAP digunakan untuk memverifikasi hasil perhitungan manual serta memperoleh profil tegangan dan rugi daya. Perbandingan hasil manual dan simulasi digunakan untuk mengidentifikasi titik kritis serta menyusun rekomendasi teknis guna meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem distribusi di wilayah kerja PLN ULP Bengkalis.



Gambar 1. Blok Diagram Penelitian

Alur penelitian diawali dengan studi literatur mengenai sistem distribusi, rugi daya, jatuh tegangan, dan penggunaan ETAP. Data jaringan distribusi diperoleh dari dokumen teknis PLN ULP Bengkalis serta observasi lapangan, lalu dihitung manual sebagai pembanding simulasi. Model jaringan dibuat dalam *Single Line Diagram* (SLD) di ETAP dan disimulasikan dengan mode *load flow* untuk mendapatkan profil daya, rugi daya, dan tegangan. Hasil simulasi

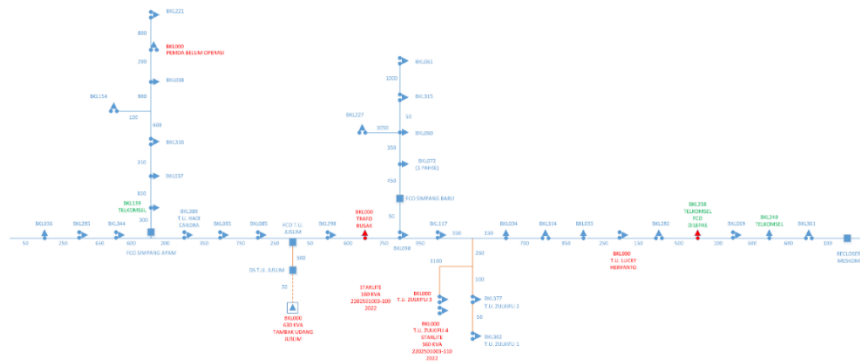
dibandingkan dengan perhitungan manual untuk mengidentifikasi titik kritis, kemudian disusun rekomendasi teknis guna menekan rugi daya dan memperbaiki profil tegangan.



Gambar 2. Flowchart Penelitian

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini dibahas hasil analisis dan interpretasi data berdasarkan simulasi dan perhitungan yang telah dilakukan pada penyulang Banten segmen *recloser* Meskom. Analisis difokuskan pada kinerja sistem distribusi tenaga listrik, meliputi kondisi tegangan, arus, rugi-rugi daya, serta keandalan jaringan. Untuk memperjelas area penelitian, pada Gambar 3. Ditampilkan diagram satu garis yang menjadi fokus penelitian ini.



Gambar 3. Single Line Diagram Jaringan Distribusi

#### A. Perhitungan Daya Gardu Distribusi

Berdasarkan data yang tersedia dari PLN ULP Bengkalis, hasil pengukuran beban pada trafo BKL 033 jurusan 1 menunjukkan arus masing-masing fasa yaitu  $I_R = 18 \text{ A}$ ,  $I_S = 11 \text{ A}$ , dan  $I_T = 8 \text{ A}$ , dengan tegangan sisi sekunder sebesar  $398 \text{ V}$ . Data ini menjadi acuan untuk menentukan daya beban aktual pada gardu distribusi.

Daya semu dihitung menggunakan Persamaan 2:

$$S = \sqrt{3} \cdot 398 \text{ V} \left( \frac{18+11+8}{3} \right) = 8.479,08 = 8,47 \text{ Kva}$$

Dengan faktor daya 0,9, diperoleh daya aktif:

$$P = \sqrt{3} \cdot 398 \cdot 12,3 \cdot 0,9 = 7,65 \text{ KW}$$

Hasil perhitungan ini menunjukkan nilai daya semu, dan aktif pada gardu BKL 033. Data tersebut kemudian digunakan sebagai input beban dalam pemodelan sistem distribusi pada aplikasi ETAP, sehingga simulasi dapat menggambarkan kondisi aktual lapangan berdasarkan data yang tersedia dari PLN ULP Bengkalis.

### B. Perhitungan Drop Voltage

Analisis rugi tegangan pada penyulang Banten segmen *recloser* Meskom dilakukan pada jaringan 18,4 km dengan tegangan 20,58 kV, faktor daya 0,9, dan arus 25 A. Penghantar A3C 70 mm<sup>2</sup> memiliki resistivitas  $2,65 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$  dan reaktansi 0,1608  $\Omega/km$ , sehingga resistansi dihitung dari tahanan jenis terhadap luas penampang dikalikan panjang jaringan. Perhitungan drop voltage mempertimbangkan komponen resistif dan reaktif terhadap arus dan panjang saluran.

Menentukan nilai resistansi total penghantar :

$$R = 2,65 \times 10^{-8} \frac{18400m}{70 \times 10^{-6}m^2} = 6,965 \text{ ohm}$$

Menentukan nilai reaktansi total :

$$X = 0,1608 \times 18,4 \text{ km} = 2,958$$

Untuk menentukan jatuh tegangan :

$$\Delta V = 25 \text{ A} (6,965 \times 0,90 + 2,958 \times 0,5268) = 195,6 \text{ V}$$

Dengan persentase jatuh tegangan :

$$\% \Delta V = \left( \frac{195,6 \text{ V}}{20580 \text{ V}} \right) \times 100\% = 0,95\%$$

Setelah dilakukan perhitungan, nilai resistansi total penghantar sebesar 6,965  $\Omega$  dan nilai reaktansi sebesar 2,958  $\Omega$ . Selanjutnya, diperoleh nilai jatuh tegangan sebesar 195,5 V dan persentase jatuh tegangan dengan tegangan nominal yang digunakan sebesar 0,95 %. Nilai ini masih tergolong cukup aman berdasarkan SPLN 56-2-1994 pasal 4, diketahui tegangan standar untuk tegangan menengah ( TM ) yaitu + 1,8 % dan - 5 % diukur dan atau dihitung dengan cara pengukuran dan atau perhitungan. Selanjutnya berdasarkan SPLN 72-1987 drop tegangan maksimal pada Jaringan Tegangan Menengah ( JTM ) adalah sebesar 5 % dari tegangan nominal 20 kV [10][11].

### C. Perhitungan Susut Teknis

Susut teknis terjadi akibat resistansi penghantar yang mengubah sebagian energi listrik menjadi panas. Besarnya susut dipengaruhi oleh arus, tahanan, dan waktu operasi. Dengan arus 25 A dan tahanan 6,965  $\Omega$ , rugi daya dihitung menggunakan Persamaan 5.

$$\Delta P = 3 \times 25^2 \times 6,965 \Omega = 13059,3 \text{ W}$$

Daya suplai dihitung dengan tegangan 20,58 kV, arus 25 A, dan faktor daya 0,9:

$$P = \sqrt{3} \cdot 20580 \text{ V} \cdot 25 \text{ A} \cdot 0,9 = 802.026 \text{ W}$$

Dengan periode operasi 12 jam, energi suplai dan energi hilang diperoleh:

$$ESupp = \frac{802026 \text{ W} \times 12}{1000} \qquad ELoss = \frac{13059,3 \text{ W} \times 12}{1000}$$

$$ESupp = 9624,3 \text{ kWh}$$

$$ELoss = 156,7 \text{ kWh}$$

Sehingga energi efektif (Pp) dan persentase susut teknis adalah:

$$Pp = 9624,3 - 156,7 = 9467,6 \text{ kWh}$$

$$Losses = \frac{9624,3 - 9467,6}{9624,3} \times 100 \% = 1,62 \%$$

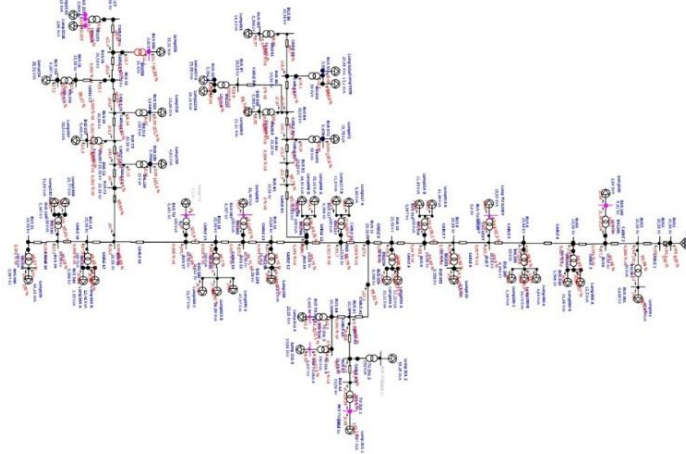
Perhitungan susut teknis penghantar berdasarkan variasi periode operasional ditunjukkan sebagaimana Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan Susut Teknis Penghantar

Periode Waktu	Periode Waktu (Jam)	Susut Teknis (Kwh)
12 Jam	12	156,7
1 Hari	24	313,4
1 Minggu	168	2194,0
1 Bulan	720	9402,7
1 Tahun	8760	114399,5

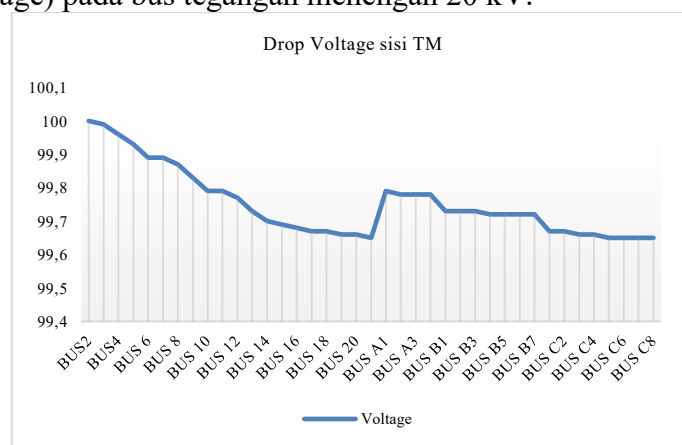
D. Analisa Simulasi ETAP

Hasil perancangan model sistem distribusi pada aplikasi ETAP menggunakan mode *load flow* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Perancangan Model Sistem Distribusi

Hasil simulasi *load flow* menggunakan ETAP menunjukkan daya tersalur sebesar 836 kW pada sistem distribusi. Analisis juga memberikan data tegangan tiap bus yang dibandingkan dengan tegangan nominal untuk menilai penurunan tegangan. Penurunan signifikan pada beberapa bus mengindikasikan potensi masalah teknis, seperti panjang penghantar, konsentrasi beban, atau keterbatasan sistem proteksi. Gambar 5. Menyajikan grafik hasil analisa penurunan tegangan (*drop voltage*) pada bus tegangan menengah 20 kV.



Gambar 5. Grafik Drop Voltage Sisi TM

Berdasarkan grafik drop voltage pada sistem distribusi 20,58 kV, mayoritas bus menunjukkan kestabilan tegangan yang sangat baik dengan nilai di atas 99,65 % dari tegangan nominal. Tegangan tertinggi tercatat pada BUS2 sebesar 100 %, yang mengindikasikan

posisinya sebagai sumber utama jaringan. Penurunan tegangan bertahap terjadi dari BUS3 hingga BUS21, namun masih dalam batas toleransi wajar untuk jaringan distribusi tegangan menengah (maksimal 5 %). Nilai tegangan terendah sebesar 99,65 % terdeteksi pada BUS21, BUS C5, C6, C7, dan C8, setara dengan 0,35 % atau 72 V dari tegangan nominal, sehingga tetap jauh di bawah ambang batas kritis.

Perbandingan nilai *drop voltage* berdasarkan hasil perhitungan dengan hasil simulasi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Nilai Drop voltage

Komponen	Tegangan TM	Drop Voltage	Persentase Drop(%)
Perhitungan Manual	20,58 kV	195,6 V	0,95 %
Simulasi ETAP	20,58 kV	72,03 V	0,35 %

Hasil simulasi ETAP menunjukkan adanya susut pada beberapa transformator distribusi. Titik kritis utama terdapat pada BKL038 dengan %Loading 107,5% dan drop tegangan 5,68%, menandakan kondisi *overload* yang meningkatkan risiko rugi-rugi daya dan gangguan suplai. Transformator lain yang menonjol adalah BKL098 dengan losses tertinggi sebesar 1,80 kW, disusul oleh BKL035 dengan losses 1,43 kW. Beberapa transformator lain juga mendekati batas kapasitas, sehingga berpotensi menambah rugi-rugi apabila beban meningkat. Secara keseluruhan, total losses pada gardu distribusi mencapai 12,08 kW, yang perlu menjadi perhatian untuk menjaga efisiensi dan keandalan sistem distribusi listrik. Perbandingan nilai susut dengan beberapa variasi periode waktu ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Susut Trafo ETAP

Periode Waktu	Periode Waktu (Jam)	Susut Teknis (Kwh)
12 Jam	12	144,96
1 Hari	24	289,92
1 Minggu	168	2.029,44
1 Bulan	720	8.697,6
1 Tahun	8760	105.820,8

Dengan daya tersalur sebesar 836 kW dan rugi-rugi daya pada gardu distribusi sebesar 12,08 kW, diperoleh daya yang sampai ke beban sebesar 823,92 kW. Berdasarkan perhitungan menggunakan Persamaan 6, persentase susut pada jaringan distribusi adalah 1,44%.

Hasil simulasi ETAP menunjukkan bahwa total panjang penghantar dalam sistem mencapai 18,4 km dengan nilai losses yang bervariasi sesuai arus dan panjang kabel. Losses terbesar tercatat pada CABLE 2 sebesar 0,498 kW, sedangkan beberapa kabel berarus kecil hanya mengalami losses mendekati nol. Secara keseluruhan, total rugi-rugi daya pada penghantar adalah 2,161 kW. Perbandingan nilai susut dengan beberapa variasi periode waktu ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Susut Penghantar ETAP

Periode Waktu	Periode Waktu (Jam)	Susut Teknis Kwh
12 Jam	12	25,93
1 Hari	24	51,86
1 Minggu	168	363,04
1 Bulan	720	1.555,92
1 Tahun	8760	18.930,36

Berdasarkan perhitungan persentase susut didapat nilai 0,25%, sehingga dapat dikatakan kehilangan daya selama distribusi relatif kecil.

Berdasarkan hasil simulasi, total daya yang disalurkan sebesar 836 kW dengan rugi-rugi pada penghantar 2,161 kW dan gardu distribusi 12,08 kW, sehingga total losses mencapai

14,241 kW atau sekitar 1,72% dari daya tersalur. Nilai ini masih dalam batas toleransi sistem distribusi tegangan menengah, namun upaya peningkatan efisiensi tetap diperlukan. Selanjutnya, dilakukan perbandingan antara perhitungan manual dan simulasi ETAP untuk mengevaluasi akurasi estimasi losses, yang hasilnya ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Nilai Susut

Komponen	Daya Tersuplai (kW)	Daya Hilang (kW)	Daya Tersalur (kW)	Persentase Losses (%)
Perhitungan Manual (Penghantar)	802	13,05	788,95	1,62 %
Simulasi ETAP – Penghantar	836	2,161	833,83	0,258 %
Simulasi ETAP – Trafo	836	12,08	823,92	1,44 %
Simulasi ETAP – Total (Trafo + Penghantar)	836	14,421	821,75	1,72 %

Untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem distribusi, diperlukan langkah teknis berupa redistribusi beban, penggantian penghantar *overload*, penyesuaian tap trafo, serta pemasangan kapasitor. Rugi daya sebesar 1,72% masih dalam batas wajar, namun dapat ditekan melalui perbaikan jaringan dan peningkatan faktor daya. Implementasi *monitoring* berbasis SCADA/IoT dan perencanaan ekspansi gardu juga penting guna mengantisipasi pertumbuhan beban di masa mendatang.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis simulasi ETAP dan perhitungan manual pada penyulang Banten segmen RC Meskom sistem distribusi 20,58 kV PT PLN (Persero) ULP Bengkalis, diperoleh beberapa temuan utama. Simulasi ETAP menunjukkan total daya tersuplai 836 kW dengan losses 14,421 kW (2,161 kW pada penghantar dan 12,08 kW pada transformator), sehingga daya tersalur menjadi 821,75 kW dengan persentase losses 1,72% serta drop voltage 72,03 V (0,35%). Perhitungan manual pada sisi penghantar menghasilkan losses 13,05 kW dari daya tersuplai 802 kW atau 1,62% dengan drop voltage 195,6 V (0,95%), sedikit lebih tinggi dibandingkan hasil simulasi. Selain itu, beberapa *lump load* seperti ZUL 2, ZUL 3, TU LUCKY, dan ZUL 1 mengalami kondisi *overload*, dengan penghantar BKL038 mencatat *loading* 107,5% dan drop voltage 5,68% yang melampaui batas wajar, sementara penghantar BKL035, BKL098, dan BKL361 juga menunjukkan tingkat *loading* tinggi serta rugi daya yang signifikan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Tim Jurnal Elektro Politeknik Negeri Bengkalis (Polbeng) yang telah meluangkan waktu dan usaha dalam menyediakan serta menyusun template jurnal, sehingga dapat mempermudah penulisan dan penyusunan artikel ini.

#### REFERENSI

- [1] M. N. Adiwiranto dan B. C. Waluyo, "Prototipe Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Serta Estimasi Biaya Pada Peralatan Rumah Tangga Berbasis Internet of Things," Jurnal ELECTRON, vol. 2, no. 2, pp. 69–78, 2021.
- [2] K. R. Dewi, Suyitno, dan N. H. Yunida, "Pengaruh Peningkatan Suhu Dan Besaran Arus Terhadap Tahanan," Journal of Electrical and Vocational Education and Technology, vol. 4, no. 1, pp. 35–40, 2019.

- [3] A. Khair, H. Ashari, dan Sanatang, “Studi Prediksi Penggunaan Energi Listrik di Desa Sanglepongan Kabupaten Enrekang Dengan Menggunakan Metode Moving Average (MA),” *Jurnal Media Elektrik*, vol. 18, pp. 18–64, 2021.
- [4] D. A. Maulana, D. Nugroho, dan B. Sukoco, “Analisa Susut Daya dan Drop Tegangan Terhadap Jaringan Tegangan Menengah 20kV Pada Gardu Induk Pandean Lamper Semarang,” dalam \*Konferensi Ilmiah Mahasiswa UNISSULA (KIMU)\*, Semarang, 2019, vol. 2, pp. 382–389.
- [5] D. Parlindungan, “Analisa Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik,” *Jurnal Dielektrika*, vol. 1, no. 1, pp. 20–24, 2010.
- [6] D. Saefrudin, “Analisis Elektrik Load Flow (Aliran Daya Listrik) Dalam Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Software ETAP Power Station 4.00 Di PT. Lokatex Pekalongan,” *Edu Elektrika Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 17–23, 2015.
- [7] A. M. Siregar, Badriana, H. M. Yusdartono, dan A. Hasibuan, “Perbaikan Nilai Susut Teknis Jaringan Tegangan Menengah Pada Feeder K.H. 05 (Case Study PLN ULP Kruenggukuh),” *Jurnal Energi Elektrik*, vol. 12, no. 1, pp. 24–30, 2023.
- [8] Sugianto dan P. Untara, “Studi Susut Energi Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik Melalui Analisis Pengukuran Dan Perhitungan,” *Jurnal SINUSIODA*, vol. 21, pp. 39–56, 2019.
- [9] Z. Syamsudin, Erlina, dan H. Suyanto, “Analisis Susut Energi Pada Tegangan Rendah di Wilayah PT. PLN (Persero) Area Bulungan,” *Jurnal SUTET*, vol. 5, no. 2, pp. 51–61, 2015.
- [10] SPLN 1. 1995. Tegangan - Tegangan Standar. Jakarta: PT. PLN (Persero).
- [11] SPLN 56-2. 1994. Sambungan Listrik Tegangan Menengah (SLTM). Jakarta:PT. PLN (Persero)