

ANALISIS *LOSSES* SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PT. PLN UNIT LAYANAN PELANGGAN PORONG PADA PENYULANG KALISOGO**Dzaky Arif Pratama, Tri Rijanto, Joko, Subuh Isnur Haryudo**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

dzaky.21060@mhs.unesa.ac.id**Abstract**

The medium voltage distribution network plays a crucial role in ensuring the continuity and efficiency of electricity delivery to consumers. However, the system often experiences power losses due to technical factors such as line length, conductor type, and load characteristics. This study aims to analyze the amount of power loss on the Kalisogo Feeder at PT PLN ULP Porong and evaluate technical solutions to reduce it. The Newton-Raphson method was employed in load flow simulations using ETAP 19.0.1 software, which allows for accurate modeling of the distribution network. Technical data were collected from several key transformer points and used to construct the system model. Simulation results revealed that the initial loss of 18,621 kW could be reduced to 5,377 kW by upgrading the conductor from 110 mm² to 150 mm². This reduction demonstrates that simulation-based technical solutions can effectively enhance network efficiency. These findings confirm that the Newton-Raphson method is effective in analyzing distribution systems and provides results that closely represent real field conditions.

Article History

Submitted: 19 July 2025

Accepted: 28 July 2025

Published: 29 July 2025

Key Words

Losses, Kalisogo Feeder, Newton-Raphson, ETAP, Distribution System

Abstrak

Jaringan distribusi tegangan menengah memiliki peran penting dalam memastikan kontinuitas dan efisiensi penyaluran listrik ke pelanggan. Namun, sistem ini kerap mengalami rugi-rugi daya (*losses*) akibat berbagai faktor teknis, seperti panjang saluran, jenis konduktor, dan karakteristik beban. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besarnya rugi daya pada Penyulang Kalisogo di PT PLN ULP Porong serta mengevaluasi solusi teknis untuk menurunkannya. Metode Newton-Raphson digunakan dalam simulasi aliran daya dengan bantuan perangkat lunak ETAP 19.0.1, yang memungkinkan pemodelan sistem distribusi secara lebih akurat dan efisien. Data teknis diambil dari beberapa titik transformator strategis, lalu diinput ke dalam model jaringan distribusi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rugi daya awal sebesar 18,621 kW dapat dikurangi menjadi 5,377 kW melalui penggantian konduktor dari 110 mm² menjadi 150 mm². Penurunan sebesar ini menunjukkan bahwa solusi berbasis simulasi teknis mampu meningkatkan efisiensi sistem. Temuan ini membuktikan bahwa metode Newton-Raphson efektif dalam menganalisis kondisi jaringan dan memberikan hasil yang representatif terhadap kondisi aktual di lapangan.

Sejarah Artikel

Submitted: 19 July 2025

Accepted: 28 July 2025

Published: 29 July 2025

Kata Kunci

Rugi Daya, Penyulang Kalisogo, Newton-Raphson, ETAP, Sistem Distribusi

PENDAHULUAN

Jaringan distribusi tenaga listrik merupakan salah satu bagian penting dalam sistem kelistrikan yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke pelanggan (Maulana dkk., 2021). Efisiensi sistem distribusi sangat berpengaruh terhadap keandalan pasokan listrik

dan biaya operasional. Salah satu tantangan utama dalam sistem distribusi adalah *losses* atau rugi-rugi daya yang terjadi selama proses transmisi dan distribusi (Wahyudi dkk., 2021).

Losses dalam jaringan distribusi tegangan menengah (20 kV) dapat dikategorikan menjadi *losses* teknis dan *losses* non-teknis (Nurzaman & Waluyo, 2021). *Losses* teknis disebabkan oleh sifat resistansi konduktor, rugi transformator, serta faktor daya rendah yang meningkatkan konsumsi daya reaktif. Sementara itu, *losses* non-teknis terjadi akibat pencurian listrik, kesalahan pencatatan meteran, atau permasalahan operasional lainnya. Jika tidak dikendalikan, *losses* dapat menyebabkan penurunan efisiensi jaringan, peningkatan biaya operasional, serta ketidakstabilan sistem kelistrikan.

PLN Unit Layanan Pelanggan (ULP) Porong memiliki sejumlah penyulang utama, salah satunya adalah Penyulang Kalisogo yang beroperasi pada jaringan tegangan menengah 20 kV. Penyulang ini memegang peran penting dalam penyaluran listrik ke berbagai jenis pelanggan, seperti industri, bisnis, dan rumah tangga. Namun, dalam praktiknya, penyulang ini mengalami rugi-rugi daya (*losses*) yang perlu dianalisis dan dikendalikan agar tetap berada dalam batas toleransi sesuai ketentuan SPLN No. 72 Tahun 1978, yang menyatakan bahwa batas maksimum rugi daya pada jaringan tegangan menengah (JTM) adalah 5% dari total energi yang dikirim dari gardu induk (Yusri dkk., 2023). Masalah ini lebih sering terjadi pada penyulang dengan panjang jaringan yang cukup besar, seperti Penyulang Kalisogo yang memiliki panjang kabel mencapai 29,35 km. Panjang saluran ini menjadi salah satu penyebab utama terjadinya *losses*, yang pada akhirnya dapat memengaruhi kualitas suplai listrik kepada pelanggan.

Untuk keperluan analisis, pengambilan sampel dilakukan pada Penyulang Kalisogo di beberapa transformator, yaitu PC 88, 68, 466, 3, 29, dan 112. Sampel ini bertujuan untuk memperoleh data yang akurat mengenai kondisi jaringan pada titik-titik tersebut, termasuk besarnya kerugian daya yang terjadi.

Untuk mengatasi permasalahan ini, penggunaan simulasi berbasis metode Newton-Raphson melalui perangkat lunak ETAP menjadi solusi yang efektif. Newton-Raphson merupakan salah satu metode numerik yang umum digunakan untuk menyelesaikan persamaan non-linear. Dalam bidang teknik kelistrikan, metode ini banyak dimanfaatkan dalam analisis aliran daya (*load flow analysis*), yaitu proses untuk mengetahui distribusi aliran listrik dalam jaringan transmisi atau distribusi (Prabowo dkk., 2021). Melalui simulasi ini, rugi-rugi daya (*losses*) pada Penyulang Kalisogo dapat dipetakan secara lebih detail, sehingga memungkinkan dilakukannya evaluasi performa jaringan dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi.

Metode Newton-Raphson digunakan untuk menghitung komputasi yang lebih cepat dalam pengolahan data dengan menggunakan banyak bus dan beban, dan memiliki nilai yang lebih akurat. Hasil perhitungan ini memberikan informasi tentang rugi-rugi daya (*losses*) yang terjadi di sepanjang jaringan, sehingga dapat membantu memahami kondisi jaringan secara menyeluruh (Prabowo dkk., 2021).

Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk mengidentifikasi bagian-bagian jaringan yang tidak memenuhi standar dan membutuhkan perbaikan. Selain itu, analisis ini diharapkan mampu menghasilkan solusi teknis, seperti pengaturan ulang konfigurasi jaringan, peningkatan kapasitas penghantar, atau redistribusi beban guna mengoptimalkan kualitas daya.

Implementasi dari langkah-langkah tersebut tidak hanya berkontribusi pada kestabilan tegangan di penyulang, tetapi juga mampu meningkatkan efisiensi sistem distribusi secara keseluruhan, sehingga mendukung keandalan pasokan listrik dan meningkatkan kepuasan pelanggan.

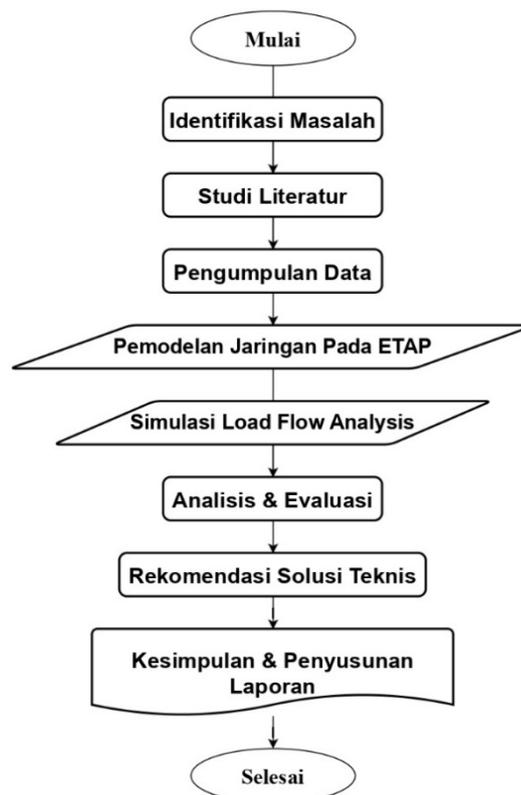
Penelitian ini memiliki signifikansi penting bagi PT. PLN Unit Layanan Pelanggan Porong, karena hasil yang diperoleh dapat menjadi dasar pertimbangan dalam upaya peningkatan kualitas layanan distribusi listrik, khususnya pada wilayah yang dilayani oleh Penyulang Kalisogo. Melalui pemahaman yang lebih mendalam dan penanganan terhadap permasalahan rugi-rugi daya (*losses*) menggunakan simulasi ETAP, PLN berpotensi meningkatkan kinerja jaringan distribusinya. Dengan demikian, pasokan listrik yang disediakan kepada pelanggan dapat menjadi lebih stabil, efisien, dan memiliki kualitas yang lebih baik.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah metode studi kasus dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian difokuskan pada sistem distribusi tegangan menengah 20 kV milik PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Porong, khususnya pada penyulang Kalisogo. Dalam pelaksanaannya, metode ini melibatkan pengumpulan data teknis dari lapangan dan dokumen internal PLN, kemudian data tersebut dimasukkan ke dalam *software* ETAP untuk dilakukan pemodelan sistem. Setelah model sistem terbentuk, dilakukan simulasi aliran daya (*load flow*) guna menganalisis besarnya rugi-rugi daya aktif dan reaktif yang terjadi di sepanjang jaringan distribusi.

Adapun waktu pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan Juni 2025 dan berlangsung hingga Juli 2025. Selama periode ini, dilakukan kegiatan observasi lapangan, pengumpulan data teknis dan gangguan, pemodelan jaringan menggunakan ETAP, hingga penyusunan Tugas Akhir.

Pelaksanaan penelitian ini mengikuti tahapan-tahapan yang terstruktur, sebagaimana digambarkan dalam diagram alir pada gambar 3.1. Diagram tersebut secara komprehensif memetakan seluruh proses penelitian, mulai dari tahap awal identifikasi masalah hingga tahap akhir berupa penyusunan kesimpulan dan penyusunan Laporan.



Gambar 3. 1 Flowchart Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem Jaringan Penyulang Kalisogo

Penyulang Kalisogo merupakan salah satu penyulang yang beroperasi di bawah wilayah kerja PT. PLN Unit Layanan Pelanggan Porong. Penyulang Kalisogo juga termasuk salah satu penyulang utama yang bertanggung jawab dalam mendistribusikan energi listrik ke berbagai segmen pelanggan, termasuk perumahan, usaha komersial, hingga sektor industri berskala kecil dan menengah. Dengan panjang jaringan sekitar $\pm 29,35$ kilometer, penyulang ini tergolong memiliki jangkauan yang luas dan tantangan teknis yang cukup kompleks.

Data teknis jaringan seperti panjang saluran, tipe konduktor, kapasitas transformator distribusi, serta karakteristik beban dimanfaatkan sebagai data input dalam pemodelan sistem menggunakan perangkat lunak ETAP. Pemanfaatan software ini ditujukan untuk mempermudah proses simulasi terhadap rugi daya (*losses*) berdasarkan kondisi nyata yang terjadi di lapangan.

Parameter Sistem dan Data Pengukuran

Parameter gardu induk

Gardu induk merupakan instalasi utama dalam sistem tenaga listrik yang berperan dalam mengubah tegangan dari tingkat tinggi ke menengah, seperti dari 150 kV atau 70 kV menjadi 20 kV, serta mendistribusikan energi listrik ke berbagai wilayah. Proses ini dilakukan menggunakan transformator daya berkapasitas besar yang mampu menangani beban hingga puluhan MVA. Selain berfungsi sebagai penghubung antara pembangkit dan jaringan distribusi menuju konsumen, gardu induk juga memiliki peran penting dalam pembagian beban dan proteksi sistem dari gangguan. Gardu induk dilengkapi dengan berbagai peralatan seperti transformator, pemutus sirkuit, saklar pemisah, sistem proteksi, serta perangkat kendali dan pengukuran. Sistem grounding dan proteksi petir juga disertakan untuk keselamatan. Berdasarkan penempatannya, gardu induk dibedakan menjadi tipe outdoor dan indoor, yang masing-masing disesuaikan dengan kondisi lingkungan dan kapasitas sistem. Keberadaan gardu induk sangat krusial untuk menjaga kestabilan dan efisiensi sistem kelistrikan, sehingga pengelolaannya harus memenuhi standar teknis yang ketat. Adapun spesifikasi gardu induk yang umum digunakan dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Spesifikasi Gardu Induk

No	Komponen	Spesifikasi Umum
1	Tegangan Primer	150 kV
2	Tegangan Sekunder	20 kV (keluar ke jaringan tegangan menengah)
3	Kapasitas Trafo Daya	60 MVA
4	Frekuensi	50 Hz
5	Sistem Jaringan	3 Fasa
6	Jalur Keluar (Feeder)	Saluran kabel udara (SKUTR) dan saluran kabel tanah (SKT)

Parameter transformator distribusi

Transformator distribusi adalah perangkat penting dalam sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi menurunkan tegangan dari tingkat menengah, seperti 20 kV, menjadi tegangan rendah 400/230 V yang digunakan oleh konsumen. Umumnya dipasang di dekat pusat beban seperti perumahan atau kawasan komersial, transformator ini membantu mengurangi rugi daya akibat jarak penyaluran. Kapasitasnya bervariasi, dari beberapa kVA hingga ratusan kVA, disesuaikan dengan kebutuhan beban setempat.

Komponen utama pada transformator ini meliputi kumparan primer dan sekunder, inti besi, tangki oli pendingin (untuk tipe berisi minyak), serta sistem proteksi seperti fuse dan arrester. Terdapat dua jenis utama berdasarkan sistem pendinginannya, yaitu tipe

kering dan tipe berisi minyak. Transformator distribusi dilengkapi dengan komponen seperti kumparan, inti besi, sistem proteksi, dan pendingin. Keandalan perangkat ini sangat menentukan kualitas dan kontinuitas pasokan listrik, sehingga diperlukan perawatan berkala serta pemasangan yang sesuai dengan standar teknis. Adapun transformator yang digunakan dapat dilihat pada table 4.2 dengan spesifikasi berikut.

Tabel 4. 2 Spesifikasi Traansformator Distribusi

No.	Komponen	Spesifikasi Umum
1	Jenis Transformator	Trasformator Distribusi 3 Fasa
2	Tegangan Primer	20.000 V (20 kV)
3	Tegangan Sekunder	400 V (antara fasa) / 230 V (antara fasa-netral)
4	Frekuensi	50 Hz
5	Kapasitas Daya (kVA)	100, 160, 200, 250 kVA
6	Jumlah Fasa	3 Fasa
7	Sistem Grounding	Netral sekunder dibumikan
8	Standar Pabrik	IEC 60076, SPLN 50, SPLN D3.004

Parameter data konduktor

Kabel distribusi merupakan media penghantar utama dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi dari gardu induk atau gardu distribusi ke konsumen melalui jaringan tegangan menengah (sekitar 20 kV) hingga tegangan rendah (400/230 V). Terdapat dua jenis utama kabel distribusi, yaitu Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) dan Saluran Kabel Tanah (SKTM), yang masing-masing memiliki keunggulan dan tantangan tersendiri dalam pemasangan serta keandalannya. Kabel ini dirancang dengan material konduktor seperti tembaga (Cu) atau aluminium (Al), dengan ukuran penampang yang disesuaikan berdasarkan kebutuhan daya dan jarak distribusi. Kualitas isolasi dan kemampuan menahan arus besar menjadi faktor penting agar tidak terjadi kebocoran arus dan gangguan eksternal.

Dalam analisis teknis sistem distribusi, data konduktor seperti jenis material, panjang saluran, serta nilai impedansi sangat berperan dalam menentukan efisiensi penyaluran daya. Impedansi konduktor gabungan antara resistansi dan reaktansi akan memengaruhi rugi-rugi daya serta penurunan tegangan di sepanjang jaringan. Jenis konduktor yang umum digunakan antara lain ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*), AAC (*All Aluminium Conductor*), dan AAAC (*All Aluminium Alloy*)

Conductor), yang masing-masing dipilih berdasarkan kekuatan mekanik, konduktivitas, dan ketahanan terhadap lingkungan.

Nilai impedansi biasanya dinyatakan dalam ohm per kilometer dan dijadikan salah satu parameter penting dalam simulasi sistem menggunakan perangkat lunak seperti ETAP. Oleh karena itu, pemilihan dan pemasangan kabel distribusi harus mengikuti standar teknis dan keselamatan, seperti yang ditetapkan oleh SPLN atau IEC (*International Electrotechnical Commission*), agar dapat mendukung keandalan dan efisiensi sistem distribusi secara menyeluruh. Jenis kabel yang digunakan dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Spesifikasi Kabel

NO	Luas Penampang (mm ²)	Type Kabel	Panjang (M)	Resistansi (Ω/Km)
1	3×110mm ²	AAAC	29356.53461	0.0841
2	3×150mm ²	AAAC	29356.53461	0.0617

Parameter distribusi dan beban setiap titik distribusi

Profil beban transformator pada penyulang kalisogo menggambarkan pola penggunaan daya listrik oleh pelanggan yang tersambung ke setiap transformator distribusi dalam jaringan tersebut. Pola ini mencerminkan konsumsi energi dari berbagai jenis pelanggan, seperti rumah tangga, sektor komersial, industri berskala kecil, serta fasilitas umum. Perhitungan beban dilakukan dengan menjumlahkan daya terpasang dan daya nyata yang dikonsumsi oleh pelanggan di sisi sekunder transformator, dengan mempertimbangkan faktor daya sebagai acuan efisiensi penggunaan energi. Masing-masing transformator memiliki kapasitas tertentu (dalam satuan kVA) dan melayani beban dengan karakteristik yang bervariasi.

Data yang digunakan berasal dari hasil pengukuran langsung di lapangan serta laporan beban harian atau mingguan yang diperoleh dari PT PLN Unit Layanan Pelanggan Porong, tanpa membedakan antara arus listrik satu fasa maupun tiga fasa. Informasi beban ini dikelompokkan berdasarkan lokasi dan kapasitas transformator yang berada dalam lintasan distribusi Penyulang Kalisogo. Selanjutnya, profil beban ini menjadi input utama dalam proses pemodelan sistem distribusi menggunakan perangkat lunak ETAP, terutama dalam analisis terhadap rugi-rugi daya (*losses*) di jaringan. Tabel 4.4 memberikan informasi terkait berapa transformator yang digunakan, kapasitas dan beban yang telah ada data aktual, serta arus yang diperoleh melewati perhitungan.

Tabel 4. 4 Data Transformator Distribusi

N O	Nomor Trafo	Kapasitas (kVA)	Section	Beban (%)	Beban (kVA)	Arus (A)
-----	-------------	-----------------	---------	-----------	-------------	----------

5	PC 88	160	LBSM PDAM	29%	46,4	1,33945
27	PC 68	200	LBSM KALISOG O	48%	96	2,77128
41	PC 466	160	LBSM JEMIRAH A N	60%	96	2,77128
50	PC 3	160	LBSM DUKUHSA RI	62%	99,2	2,86366
60	PC 29	200	LBSM BRANTAS	24%	48	0,13856
84	PC 112	100	LBSM PUSDIK	35%	35	1,01036

Tabel 4.1 hingga 4.4 merupakan tabel yang berisi informasi spesifikasi sumber kelistrikan yang digunakan untuk menjalankan mesin – mesin listrik yang ada di PT. PLN Unit Layanan Pelanggan Porong. Setelah seluruh data diinput, dilakukan simulasi aliran daya (*load flow*) total rugi-rugi daya yang terjadi di jaringan.

Hasil pengukuran *losses*

Pada Analisis *Losses* Sistem Distribusi 20 kV PT. PLN Unit Layanan Pelanggan Porong Pada Penyulang Kalisogo, fokus utama adalah menghitung besarnya rugi-rugi daya (*losses*) yang terjadi pada sistem distribusi tegangan menengah (20 kV). Tujuan dari perhitungan ini adalah untuk mengevaluasi efisiensi penyaluran energi listrik dari gardu induk menuju beban terjauh di jaringan, serta mengidentifikasi titik-titik dengan kerugian daya paling signifikan.

Perhitungan rugi daya dilakukan dengan menggunakan metode simulasi berbasis software ETAP 19.0.1, yang dilengkapi dengan input data teknis lapangan. Data yang digunakan meliputi arus dan tegangan aktual pada masing-masing transformator di ujung penyulang, serta informasi teknis kabel distribusi seperti jenis konduktor, panjang saluran, impedansi, dan luas penampang. Sebagai pembandingan, dilakukan pula perhitungan manual menggunakan persamaan dasar rugi daya I^2R , sesuai teori yang dijelaskan pada Tinjauan Pustaka.

Dalam perhitungannya, rugi daya dihitung berdasarkan arus beban yang mengalir dalam sistem, dikalikan dengan resistansi konduktor dan dikalikan dengan tiga (untuk sistem tiga fasa). Nilai faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0,85 digunakan sebagai acuan dalam menentukan daya aktif dan untuk memperkirakan nilai arus aktual. Dengan mempertimbangkan beban normal yang diamati secara langsung, perhitungan ini memberikan gambaran yang lebih akurat terhadap tingkat kerugian energi yang terjadi pada setiap segmen jaringan.

Sebagai contoh, perhitungan dilakukan pada salah satu segmen kabel distribusi yang menghubungkan transformator dengan nomor PC 88, menggunakan parameter resistansi dan panjang kabel sesuai data teknis yang tersedia. Hasil perhitungan ini digunakan untuk

mengevaluasi kinerja sistem serta mendukung upaya optimalisasi jaringan distribusi guna meminimalkan rugi daya secara keseluruhan. Menggunakan rumus luas penampang kabel telah dikonversi dari meter persegi ke milimeter persegi (mm^2), yang mempermudah perhitungan:

$$I = \frac{P}{V \times \sqrt{3} \times \cos \varphi} \quad (4.1)$$

Keterangan:

P_{losses} = Rugi daya (kW)

I = Arus listrik (A)

ρ = Hambatan jenis material konduktor (Ωm)

ℓ = Panjang kabel (m)

A = Luas penampang kabel (mm^2)

$$I = \frac{46400}{20000 \times \sqrt{3} \times 0,85} \quad (4.2)$$

$$I = \frac{46400}{29444,86373}$$

$$I = 1,33945 \text{ Ampere}$$

Setelah mendapatkan nilai ampere untuk selanjutnya mencari nilai resistansi pada total kabel.

$$R = \frac{\rho \times \ell}{A} \quad (4.3)$$

Keterangan

R = Resistansi

ρ = Hambatan jenis material konduktor (Ωm)

ℓ = Panjang kabel (m)

A = Luas penampang kabel (mm^2)

$$R = 2,65 \times 10^{-8} \times \frac{349,4}{110^{-6}\text{m}^2} \quad (4.4)$$

$$R = 2,65 \times 10^{-8} \times 317636$$

$$R = 0,0841 \Omega$$

Setelah diperoleh nilai arus pada persamaan 1 pada setiap segmen jaringan distribusi, langkah selanjutnya adalah menghitung resistansi total kabel yang digunakan pada setiap jalur penyulang yang dapat dilihat pada persamaan 5.

Untuk itu, dilakukan analisis rugi daya baik secara manual maupun simulasi, guna mengevaluasi efisiensi sistem dan merumuskan solusi teknis untuk meminimalkan kehilangan daya. Berikut ini adalah contoh perhitungan pada kabel distribusi yang digunakan pada transformator PC 88.

$$P_{losses} = I^2 \times R \times 3 \quad (4.3)$$

$$P_{losses} = 78,79^2 \times 0,0841 \times 3$$

$$P_{losses} = 1556,2441 \text{ Watt}$$

$$P_{losses} = 1,556 \text{ kW}$$

Hasil yang didapatkan pada rugi - rugi pada transformator nomor PC 88 mendapatkan nilai 1,556 kW.

Hasil Pemodelan Jaringan Menggunakan ETAP

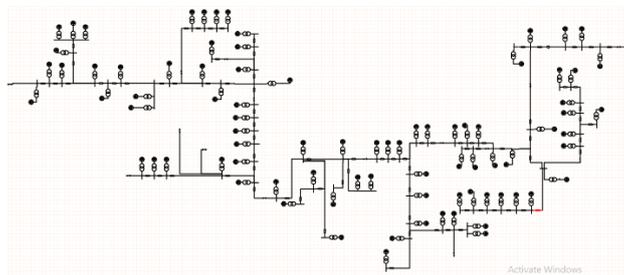
Setelah memperoleh data teknis penyulang kalisogo secara aktual melalui pengukuran lapangan dan dokumentasi di PLN Unit Layanan Pelanggan Porong, kemudian dilakukan simulasi analisis aliran daya (*load flow analysis*) menggunakan perangkat lunak ETAP. Dengan tujuan, analisis ini dapat mengevaluasi kondisi rugi-rugi daya (*losses*) pada sistem distribusi khususnya pada penyulang kalisogo yang terdapat penurunan performa pada ujung penyulang.

Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan metode Newton-Raphson yang dikenal memiliki kecepatan dan akurasi tinggi dalam menyelesaikan sistem non-linear pada aliran daya. Adapun tahapan dalam melaksanakan simulasi menggunakan ETAP adalah sebagai berikut:

Jalankan perangkat lunak ETAP versi 19.0.1 pada komputer Anda. Setelah aplikasi terbuka, Anda akan diarahkan ke tampilan awal untuk memulai proyek baru. Klik ikon “New” di pojok kiri atas, lalu isi nama proyek dan tentukan lokasi penyimpanannya.

1. Masukkan informasi pengguna pada jendela yang muncul, seperti nama pembuat proyek. Pastikan seluruh opsi pada bagian “Access Level Permission” dicentang agar memiliki akses penuh terhadap fitur-fitur dalam proyek tersebut.
2. Atur standar proyek dengan masuk ke menu “Project” di menu bar atas, lalu pilih “Standard”. Untuk simulasi ini, gunakan standar IEC, dengan satuan Metric System dan frekuensi sistem 50 Hz.
3. Selanjutnya, bangun model jaringan berdasarkan Diagram Garis Tunggal PG Tersana Baru. Pastikan setiap komponen memiliki parameter yang lengkap dan sesuai, antara lain:
4. Jaringan listrik utama, dengan nilai tegangan (kV).
 - Generator, meliputi daya (kW), tegangan (kV), faktor daya (%PF), kapasitas (kVA), efisiensi (%), jumlah kutub, kecepatan putar (RPM), serta impedansi.

- Transformator, dengan data seperti tegangan primer dan sekunder, kapasitas (kVA), jenis, subjenis, kelas isolasi, serta impedansi.
 - Kabel atau penghantar, meliputi panjang, toleransi, dan pustaka kabel yang digunakan.
 - Beban terintegrasi, dengan spesifikasi tegangan (kV), daya semu (kVA), dan faktor daya (%PF).
5. Untuk melakukan simulasi, buka menu analisis aliran beban dengan mengklik ikon yang tersedia pada toolbar. Pilih metode perhitungan dengan membuka menu “Load Flow Study Case”, lalu pilih metode Newton-Raphson sebagai teknik penyelesaiannya.
 6. Setelah semua komponen dimasukkan dan disesuaikan, jalankan simulasi dengan mengklik ikon “Run Load Flow” yang ada di bilah alat sisi kanan.
 7. Untuk melihat hasil analisis, buka “Load Flow Result Analyzer”. Pada bagian “Report Type”, pilih “Result Branch” dan beri tanda centang pada beberapa parameter penting seperti: kW Flow, kVar Flow, % Power Factor, kW Loss, dan kVar Loss untuk mengetahui distribusi daya serta rugi-rugi yang terjadi.



Gambar 4. 1 Simulasi Penyulang Kalisogo

Pada gambar 4.1 diatas menunjukkan hasil simulasi sistem distribusi listrik pada Penyulang Kalisogo yang telah dianalisis menggunakan perangkat lunak ETAP versi 19.0.1. Tampilan simulasi ini merepresentasikan kondisi operasional jaringan secara menyeluruh, termasuk penyebaran tegangan, aliran daya aktif dan reaktif, serta posisi transformator yang saling terhubung. Model visual ini disusun berdasarkan data riil dari lapangan yang telah dimasukkan ke dalam ETAP, sehingga memungkinkan analisis teknis yang lebih akurat terhadap kinerja sistem, khususnya dalam mengidentifikasi dan mengevaluasi rugi-rugi daya (*losses*) yang terjadi di jaringan.

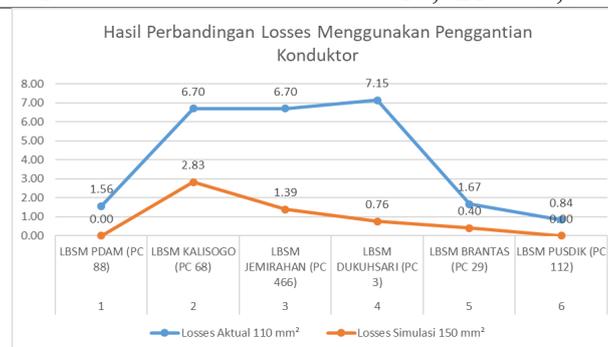
Analisis titik-titik losses

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh data rugi-rugi daya (*losses*) pada berbagai skenario kondisi sistem distribusi. Evaluasi ini bertujuan untuk menilai seberapa besar *losses* yang timbul akibat variasi panjang kabel, jenis penghantar, besarnya arus beban, serta ukuran penampang konduktor. Secara umum, *losses* dalam sistem distribusi disebabkan oleh adanya resistansi pada penghantar yang mengonversi sebagian energi listrik menjadi panas. Semakin besar nilai *losses*, maka semakin banyak energi yang terbuang selama proses

distribusi, yang pada akhirnya akan mengurangi efisiensi sistem. Oleh karena itu, analisis perbandingan ini menjadi krusial untuk mengkaji performa jaringan dan menentukan konfigurasi teknis yang paling optimal. Tabel berikut menyajikan hasil perbandingan *losses* aktual berdasarkan pengumpulan data dari PLN Unit Layanan Pelanggan Porong yang dimana penampang konduktor yang digunakan sebesar 110 mm² dengan membandingkan hasil simulasi yang menggunakan penampang konduktor sebesar 150 mm². Dengan meninjau batasan masalah, tabel 4.5 adalah contoh skenario yang telah disimulasikan dan gambar 4.2 menunjukkan perbandingan secara grafik.

Tabel 4. 5 Hasil Perbandingan Losses

NO	Section	Losses Aktual (kW)	Losses Simulasi (kW)
1	LBSM PDAM (PC 88)	1,55	0,00
2	LBSM KALISOGO (PC 68)	6,70	2,83
3	LBSM JEMIRAHAN (PC 466)	4,70	1,39
4	LBSM DUKUHSARI (PC 3)	3,15	0,76
5	LBSM BRANTAS (PC 29)	1,67	0,397
6	LBSM PUSDIK (PC 112)	0,841	0,000
Total		18,621	5,377



Gambar 4. 2 Grafik Perbandingan Losses

1. Berdasarkan hasil analisis terhadap grafik dan data perbandingan antara rugi-rugi daya aktual menggunakan konduktor 110 mm² dan hasil simulasi yang menggunakan konduktor 150 mm² pada jaringan kalisogo distribusi di ujung penyulang, Efektivitas

- simulasi dari hasil simulasi, total losses berhasil diturunkan dari 18,621 kW menjadi 5,377 kW, menunjukkan penurunan sebesar 71,1%, yang berarti model simulasi mampu mengidentifikasi dan memitigasi titik-titik rugi daya secara efisien.
2. Titik Efisiensi Tertinggi
Dua section, yaitu PC 88 dan PC 112, menunjukkan penurunan losses hingga 100%, mengindikasikan bahwa intervensi teknis seperti penggantian konduktor atau redistribusi beban bekerja sangat efektif di area tersebut.
 3. Titik Efisiensi Terendah
PC 68 menunjukkan efisiensi terendah (57,76%) dibandingkan titik lainnya. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh arus yang masih tinggi, impedansi jalur yang belum optimal, atau ketidakseimbangan beban.
 4. Distribusi Penurunan Losses
Penurunan losses yang signifikan terjadi pada section dengan beban tinggi dan saluran panjang, seperti PC 68 dan PC 466. Hal ini konsisten dengan teori bahwa losses sangat bergantung pada factor $I^2 \times R$, dimana resistansi dipengaruhi oleh luas penampang kabel dan panjang saluran.

Evaluasi Solusi Teknis

Upaya pengurangan rugi-rugi daya (*losses*) dalam sistem distribusi merupakan aspek penting dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas pasokan listrik. Pada penelitian ini, solusi teknis yang disimulasikan adalah penggantian ukuran penampang konduktor dari 110 mm² menjadi 150 mm². Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak ETAP versi 19.0.1 dengan pendekatan metode numerik Newton-Raphson untuk memperoleh hasil yang akurat terhadap distribusi aliran daya.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa Setelah dilakukan intervensi teknis berupa penggantian ukuran penampang konduktor dari 110 mm² menjadi 150 mm², total losses berhasil ditekan dari **18,621 kW** menjadi **5,377 kW**. Penurunan sebesar **71,1%**. Hal ini membuktikan bahwa peningkatan luas penampang konduktor dapat secara signifikan menurunkan resistansi penghantar, sehingga mengurangi energi yang hilang dalam bentuk panas selama proses transmisi daya. Solusi ini efektif terutama pada jalur dengan panjang saluran yang cukup jauh atau beban arus yang tinggi.

Meskipun penggantian konduktor terbukti mampu meningkatkan efisiensi jaringan, implementasi di lapangan perlu mempertimbangkan faktor biaya investasi, kesesuaian infrastruktur eksisting, dan kemudahan teknis dalam pelaksanaan. Oleh karena itu, penggantian konduktor sebaiknya dijadikan sebagai salah satu opsi teknis yang dianalisis secara menyeluruh dalam perencanaan jangka menengah atau panjang.

Selain solusi penggantian konduktor, terdapat beberapa rekomendasi teknis lain yang dapat dipertimbangkan untuk menekan rugi-rugi daya pada sistem distribusi, antara lain:

- Redistribusi beban antar transformator atau antar feeder, untuk menghindari beban yang tidak merata dan mengurangi beban berlebih pada satu jalur tertentu.
- Pemasangan kapasitor bank di titik-titik beban dominan untuk memperbaiki faktor daya ($\cos \phi$), yang secara tidak langsung akan menurunkan arus dan memperkecil *losses*.
- Pengoptimalan konfigurasi jaringan, seperti pengubahan dari sistem radial ke sistem ring atau loop pada area dengan konsentrasi beban tinggi, untuk memperpendek jalur aliran arus.
- Penempatan trafo distribusi yang lebih strategis, agar jarak antara sumber dan beban dapat dipersingkat, sehingga menurunkan resistansi total jalur distribusi.
- Pemeliharaan berkala dan pemeriksaan koneksi, guna menghindari sambungan longgar, korosi, dan kerusakan kabel yang dapat meningkatkan *losses* secara tidak langsung.

Rekomendasi-rekomendasi tersebut tidak dalam simulasi pada penelitian ini, namun disampaikan sebagai masukan teknis tambahan yang relevan untuk meningkatkan efisiensi jaringan distribusi secara menyeluruh. Evaluasi dan implementasi dari berbagai opsi teknis tersebut dapat disesuaikan dengan kondisi spesifik diterapkan sistem distribusi yang dianalisis, serta mempertimbangkan aspek teknis, ekonomis, dan operasional yang berlaku di lapangan.

Dasar dari rekomendasi teknis tersebut mengacu pada prinsip-prinsip Teknik elektro dalam sistem distribusi tenaga Listrik, serta yang umum digunakan oleh praktisi dan lembaga kelistrikan.

Hasil simulasi sistem distribusi tenaga listrik pada Penyulang Kalisogo menunjukkan efektivitas yang tinggi dalam menurunkan rugi-rugi daya (*losses*). Setelah dilakukan intervensi teknis berupa penggantian ukuran penampang konduktor dari 110 mm² menjadi 150 mm², total *losses* berhasil ditekan dari **18,621 kW** menjadi 5,377 kW. Penurunan sebesar **71,1%** ini mencerminkan bahwa model simulasi yang diterapkan mampu secara akurat mengidentifikasi titik-titik kerugian energi dan memberikan solusi teknis yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi distribusi energi listrik.

Evaluasi terhadap hasil tersebut mengacu pada standar SPLN No. 72 Tahun 1987, yang menetapkan batas toleransi maksimal rugi daya sebesar 5% dari total daya sistem. Nilai *losses* aktual sebesar 18,621 kW masih berada dalam ambang batas yang diperbolehkan, sedangkan hasil simulasi pasca intervensi menunjukkan kinerja sistem yang jauh lebih efisien karena berada jauh di bawah batas tersebut.

Distribusi efisiensi di setiap titik pada jaringan menunjukkan variasi yang perlu dianalisis lebih lanjut. Beberapa titik seperti PC 88 dan PC 112 mencatat pengurangan *losses* hingga 100%, yang mengindikasikan efektivitas optimal dari strategi penggantian konduktor. Di sisi lain, titik seperti PC 68 menunjukkan efisiensi terendah, yaitu sebesar 57,76%, yang kemungkinan besar disebabkan oleh arus beban yang masih tinggi, impedansi jalur yang belum optimal, atau ketidakseimbangan distribusi beban. Kondisi ini menjadi indikasi bahwa meskipun solusi teknis telah dilakukan, beberapa titik masih membutuhkan evaluasi dan perbaikan tambahan agar keseluruhan jaringan dapat bekerja secara optimal.

Pemilihan ukuran konduktor 150 mm² dalam penelitian ini dilakukan secara langsung tanpa uji antara, seperti 120 mm², dengan pertimbangan kebutuhan pembuktian dampak maksimal terhadap penurunan *losses*. Ukuran ini juga telah menjadi standar umum PLN untuk saluran utama dengan beban besar. Dalam konteks keterbatasan waktu dan ruang.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan simulasi yang dilakukan menggunakan metode Newton-Raphson pada perangkat lunak ETAP 19.0.1 terhadap sistem distribusi Penyulang Kalisogo di PT. PLN ULP Porong, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

Simulasi aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson pada perangkat lunak ETAP 19.0.1 terbukti efektif dalam menganalisis dan mengidentifikasi rugi-rugi daya (losses) pada jaringan distribusi 20 kV. Berdasarkan hasil perhitungan, total losses aktual pada sistem distribusi sebelum dilakukan intervensi teknis tercatat sebesar 18,621 kW. Setelah dilakukan penggantian ukuran penampang konduktor dari 110 mm² menjadi 150 mm², losses berhasil diturunkan menjadi 5,377 kW. Penurunan sebesar 71,1% ini menunjukkan bahwa pendekatan simulasi yang dilakukan mampu merepresentasikan kondisi sistem nyata secara akurat serta mengusulkan solusi teknis yang tepat sasaran. Hal ini juga membuktikan bahwa metode Newton-Raphson dapat menyelesaikan perhitungan sistem non-linier dengan hasil yang sangat mendekati kondisi lapangan

Evaluasi terhadap efisiensi distribusi energi listrik berdasarkan standar SPLN No. 72:1987 menunjukkan bahwa sistem distribusi sebelum intervensi masih dalam batas toleransi yang diperkenankan, namun sangat mendekati ambang maksimum. Dengan total daya sistem sebesar 372,6 kW, batas toleransi maksimal losses sebesar 5% adalah 18,63 kW. Nilai rugi-rugi aktual sebesar 18,621 kW menunjukkan sistem berada dalam kondisi yang hampir melampaui batas toleransi. Setelah dilakukan intervensi teknis berupa penggantian konduktor, losses menurun jauh di bawah batas tersebut. Ini membuktikan bahwa solusi teknis yang diterapkan tidak hanya efektif dalam menurunkan losses, tetapi juga mampu meningkatkan efisiensi serta keandalan sistem distribusi secara keseluruhan.

REFERENSI

- Abdi Rafidan Saputra, Dimas Pramudya, M. Naufal Gibran, T. K. (2024). Power Flow Analysis Of High-Voltage Networks At PT. PLN ULP Serang Using ETAP 19.0.4 (December), 62–69. <https://journal.irpi.or.id/index.php/ijeere/article/view/1502>
- Angkouw, B. J., Tumaliang, H. F., & Tulung, N. M. (2023). Analysis of Power Loss and Voltage Drop in the North Minahasa Area Distribution Network. *Teknik Elektro Dan Komputer*, 1–9. <https://repo.unsrat.ac.id/4401/>
- Arifyanto, D. (2023). Analisis Penentuan Letak Trafo Distribusi Pada Penyulang Walmas Menggunakan ETAP Power Station 12.6.0. *Jurnal Teknologi Elekterika*, 20(1), 57–63. <https://doi.org/10.31963/elekterika.v20i1.4502>
- Artema. (2020, Mei 17). Saluran Distribusi Listrik. Artema Blog. <https://artema.co.id/saluran-distribusi-listrik/>
- Asnil, A., Candra, O., Myori, D. E., Eliza, F., Krismadinata, K., & Husnaini, I. (2024). Analisis Jatuh Tegangan Pada Sistem Distribusi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Wilayah Ngalau Baribuik. *Suluah Bendang: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 24(1), 42. <https://doi.org/10.24036/sb.05400>
- Deni Samuel. (2015). Akar Persamaan Non Linier Metode Newton Raphson. Slide Player Blog <https://slideplayer.info/slide/2808798/>
- Funan, F., & Sutarna, W. (2020). Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan Indeks Keandalan SAIDI dan SAIFI pada PT PLN (PERSERO)

- Rayon Kefamenanu. *Jurnal Ilmiah TELSINAS*, 3(1), 32–36.
<https://journal.undiknas.ac.id/index.php/teknik/article/view/2888>
- Gonen, T. (2006). *Electric Power Distribution Engineering* (3 ed.). CRC Press.
- Listin, T. W., Thaha, S., & AR, K. N. (2021). Analisis Susut Energi (*Losses*) Jaringan Tegangan Menengah (20kv) Di Bandar Udara Internasional Sultan Hasanuddin Makassar. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, 168–177.
<https://repository.poliupg.ac.id/id/eprint/3668>
- Maulana, R., Suriadi, & Siregar, H. R. (2021). Analisa Sistem Keandalan Jaringan Distribusi Menggunakan Metode Section Technique. *KITEKTRO: Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro*, 6(3), 39–44.
<https://doi.org/10.24815/kitektro.v0i0.24121>
- Mumu, A. J., Mangindaan, G. Ch., & Tumaliang, H. (2021). Analisis Keandalan Sistem Distribusi Di Kotamobagu Menggunakan Indeks Saifi dan Saidi.
<https://repo.unsrat.ac.id/3303/>
- Nurzaman, D. Y., & Waluyo. (2021). Analisis Perbandingan Susut Daya Dan Jatuh Tegangan pada Saluran Distribusi Udara Dan Kabel Tegangan Menengah 20 kV. *Prosiding Diseminasi FTI Genap 2021/2022*.
<https://eproceeding.itenas.ac.id/index.php/fti/article/view/1538>
- PT PLN (Persero). (1987). *SPLN No. 72:1987 – Standar Tegangan dan Batas Penyimpangan Tegangan Pada Jaringan Distribusi Tegangan Menengah*. Jakarta: Direktorat Distribusi.
- Prabowo, B. D., Syam, E., Alham, R., Nusantara, I., & Ridwan, M. (2021). Analisis Aliran Daya Sistem Jaringan Listrik 14 Bus Modified Dengan Metode Newton Raphson. *PoliGrid*, 2(2), 46. <https://doi.org/10.46964/poligrd.v2i2.722>
- Rofandy, M. Y., Hasibuan, A., & Rosdiana, R. (2022). Analysis of The Effect of Bank Capacitor Placement as Voltage Drop Increase in Distribution Network. *Andalasian International Journal of Applied Science, Engineering and Technology*, 2(1), 11–24.
<https://doi.org/10.25077/aijaset.v2i1.32>
- Saputra, A. R., Pramudya, D., Gibran, M. N., & Kurniawan, T. (2024). Analisis Aliran Daya Jaringan Tegangan Tinggi Pada PT. PLN ULP Serang Menggunakan ETAP 19.01. *IJEERE: Indonesian Journal of Electrical Engineering and Renewable Energy*, 4(2), 62–69. <https://journal.irpi.or.id/index.php/ijeere/article/view/1502>
- Soedjarwanto, N., Kines, K. E., & Aulia, S. A. (2024). Analisis Susut Daya (*Losses*) Pada Penyulang Rayap PT. PLN (Persero) UID Lampung Berbasis Aplikasi ETAP 19.0.1. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 12(2).
<https://doi.org/10.23960/jitet.v12i2.4072>
- Yusri Ambabunga, Lantana Dioren Rumpa, & Derluis Patiung. (2023). Analisis Jatuh Tegangan Dan Rugi Daya Pada Feeder (T2) Pt Pln (Persero) Ulp Rantepao Menggunakan Etap 19.0.1. *Journal Dynamic Saint*, 8(1), 100–104.
<https://doi.org/10.47178/dynamicsaint.v8i1.2161>