

Analisis Susut Teknis dan Rekomendasi Penurunan Energi pada Jaringan Tegangan Menengah PT PLN UP3 Semarang

Itsna Nurul Rahmani

Program Studi Magister Teknik Elektro, Institut Teknologi PLN

*Corresponding Author e-mail: syaifulali7689@gmail.com

Received: November 2025; Revised: December 2025; Published: February 2026

Abstrak

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi. Kondisi ini menuntut PT PLN (Persero) sebagai badan usaha milik negara di bidang kelistrikan untuk menjaga keandalan sistem tenaga listrik sekaligus meminimalkan kerugian energi akibat susut. Susut energi listrik, khususnya susut teknis, berpotensi menimbulkan kerugian finansial yang signifikan apabila tidak dikendalikan secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung besarnya susut energi listrik serta menganalisis alternatif perbaikan guna menurunkan susut teknis pada sistem distribusi. Metode yang digunakan adalah pendekatan Formula Jogja untuk menghitung susut teknis pada jaringan tegangan menengah (JTM) dan transformator distribusi. Penelitian ini dilakukan pada sistem distribusi PT PLN (Persero) UP3 Semarang. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa susut teknis pada JTM sebesar 2,19%, lebih tinggi dibandingkan susut teknis pada transformator yang sebesar 1,55%. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian difokuskan pada penurunan susut teknis pada JTM. Alternatif perbaikan yang diterapkan adalah penambahan 15 penyulang baru. Hasil simulasi perhitungan menunjukkan bahwa penambahan penyulang tersebut mampu menurunkan susut teknis JTM sebesar 0,48%, dari 2,19% menjadi 1,71%. Simpulan penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan penyulang merupakan strategi teknis yang efektif untuk menurunkan susut energi pada jaringan tegangan menengah dan dapat meningkatkan efisiensi sistem distribusi listrik PT PLN (Persero).

Kata kunci: Susut Energi, Jaringan Tegangan Menengah, Transformator, Rekomendasi Perbaikan

Study of Calculation and Recommendations Selection for Reducing Technical Losses in the Medium Voltage Network of PT PLN (Persero) UP3 Semarang

Abstract

Electricity demand in Indonesia continues to increase along with population growth and economic activities. This condition requires PT PLN (Persero), as the state-owned enterprise in the electricity sector, to maintain the reliability of the power system while minimizing energy losses caused by power losses. Electrical energy losses, particularly technical losses, can lead to significant financial impacts if not properly controlled. This study aims to calculate the magnitude of electrical energy losses and to analyze improvement alternatives to reduce technical losses in the distribution system. The research employs the Jogja Formula approach to calculate technical losses in the medium-voltage network (MVN) and distribution transformers. The study was conducted on the distribution system of PT PLN (Persero) UP3 Semarang. The results indicate that technical losses in the medium-voltage network reach 2.19%, which is higher than the technical losses in distribution transformers at 1.55%. Based on these findings, the study focuses on reducing technical losses in the medium-voltage network. The proposed improvement strategy involves the addition of 15 new feeders. Simulation results show that the addition of these feeders reduces technical losses in the medium-voltage network by 0.48%, from 2.19% to 1.71%. In conclusion, the addition of feeders is an effective technical strategy for reducing energy losses in medium-voltage distribution networks and improving the efficiency of PT PLN (Persero)'s electricity distribution system.

Keywords: Energy Losses, Medium Voltage Network, Transformer, Alternative Repair

How to Cite: Rahmani, I. N. . (2026). Studi Perhitungan dan Pemilihan Rekomendasi Penurunan Susut Teknis pada Jaringan Tegangan Menengah PT PLN (Persero) UP3 Semarang. *Journal of Authentic Research*, 5(1), 53-65. <https://doi.org/10.36312/2t56g702>



<https://doi.org/10.36312/2t56g702>

Copyright© 2026, Rahmani.
This is an open-access article under the CC-BY-SA License.



PENDAHULUAN

(Chicco, 2012; Wijayanto & Sunitiyoso, 2019) menyatakan kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, aktivitas ekonomi, dan percepatan pembangunan infrastruktur nasional. Pemanfaatan listrik tidak hanya terbatas pada kebutuhan rumah tangga, tetapi juga mencakup fasilitas umum seperti penerangan jalan, sistem persinyalan lalu lintas, serta moda transportasi berbasis listrik seperti kereta listrik. Kondisi ini menuntut tersedianya sistem tenaga listrik yang andal, efisien, dan berkelanjutan guna mendukung pertumbuhan nasional (Kementerian ESDM, 2023).

Sebagai satu-satunya badan usaha milik negara yang bergerak di bidang ketenagalistrikan, PT PLN (Persero) memiliki tanggung jawab penuh mulai dari pembangkitan, transmisi, distribusi, hingga penjualan energi listrik kepada konsumen. Salah satu unit layanan yang memiliki wilayah kerja cukup luas adalah PT PLN (Persero) UP3 Semarang yang berada di bawah UID Jawa Tengah dan DIY. Kompleksitas jaringan distribusi di wilayah ini menuntut pengelolaan sistem tenaga listrik yang optimal, khususnya pada jaringan tegangan menengah 20 kV yang menjadi tulang punggung distribusi energi listrik (PLN, 2022).

(Chuwa et al., 2025; Viegas et al., 2017) menyatakan susut energi teknis pada jaringan distribusi listrik merupakan salah satu faktor yang memengaruhi efisiensi sistem tenaga listrik. Susut teknis terjadi karena adanya konversi energi dari bentuk energi listrik menjadi bentuk lain (seperti panas) yang disebabkan oleh resistansi konduktor, transformator, dan peralatan lainnya yang ada dalam sistem distribusi (Savian et al., 2021; Tsygulev et al., 2020). Proses ini tidak dapat dihindari karena sifat fisik dari peralatan dan jaringan distribusi itu sendiri, seperti panjang kabel, jenis konduktor, dan beban yang mengalir melalui sistem. Dalam konteks PT PLN (Persero) UP3 Semarang, yang mengelola jaringan distribusi listrik di wilayah yang meliputi Kota Semarang, Kabupaten Semarang, dan Kabupaten Kendal, susut teknis pada jaringan tegangan menengah (JTM) menjadi salah satu komponen utama yang menyumbang kerugian energi.

Penurunan efisiensi dalam sistem distribusi ini berpotensi menambah biaya operasional PLN dan merugikan konsumen. Sebagai contoh, hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa susut teknis pada jaringan tegangan menengah di Indonesia rata-rata mencapai angka yang cukup signifikan, yang menyebabkan kerugian finansial yang tidak sedikit (Buzaau et al., 2020; Carr et al., 2022). Data terbaru dari PT PLN (Persero) menunjukkan bahwa pada tahun 2024, susut teknis pada JTM di wilayah UP3 Semarang tercatat sebesar 2,19%, angka yang lebih tinggi dibandingkan dengan susut pada transformator yang hanya sebesar 1,55%. Hal ini menegaskan bahwa fokus utama dalam pengurangan kerugian energi harus diarahkan pada perbaikan sistem distribusi pada jaringan tegangan menengah.

Menghitung besarnya susut teknis pada jaringan distribusi, penelitian ini menggunakan pendekatan Formula Jogja, yang telah banyak digunakan dalam evaluasi susut energi pada jaringan distribusi PT PLN (Persero). Metode ini mengandalkan data operasional yang mudah diakses, seperti energi masuk ke jaringan, energi yang terjual, serta parameter fisik jaringan distribusi. Keunggulan dari pendekatan ini adalah kemampuannya untuk menyederhanakan perhitungan aliran energi tanpa mengorbankan akurasi hasil. Formula Jogja memungkinkan evaluasi yang lebih efisien dan efektif terhadap susut teknis, yang sangat penting

untuk meningkatkan transparansi dan akurasi dalam perencanaan dan perbaikan jaringan distribusi.

Pendekatan ini lebih lanjut akan membantu memberikan wawasan praktis tentang bagaimana susut energi dapat diminimalkan di lapangan. Dalam penelitian ini, fokus utama adalah menghitung susut teknis pada JTM di UP3 Semarang dengan menggunakan data aktual yang mencakup arus beban puncak, rugi beban puncak, dan energi masuk pada jaringan distribusi. Hasil analisis diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis yang relevan untuk mengurangi kerugian energi dan meningkatkan efisiensi sistem distribusi listrik.

(Costa et al., 2018) menyatakan pentingnya pengelolaan susut energi teknis bukan hanya terkait dengan aspek teknis, tetapi juga berdampak pada keberlanjutan sistem kelistrikan itu sendiri. Kerugian energi yang tinggi tidak hanya menambah beban biaya operasional, tetapi juga berpotensi mengurangi kemampuan PLN dalam menyediakan pasokan listrik yang andal dan terjangkau bagi masyarakat. Dalam jangka panjang, pengelolaan susut energi yang efisien akan berkontribusi pada pengurangan emisi karbon, mengingat pembangkit listrik yang menghasilkan energi untuk jaringan distribusi biasanya bergantung pada sumber energi fosil (Kåberger, 2018; Lazcano et al., 2017; Rehman et al., 2019). Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi dalam mengidentifikasi dan menganalisis berbagai alternatif perbaikan untuk mengurangi susut teknis pada JTM PT PLN (Persero) UP3 Semarang. Skenario perbaikan yang dianalisis meliputi penambahan penyulang baru, yang diperkirakan dapat mengurangi susut energi hingga 0,48%, dari 2,19% menjadi 1,71%. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih dalam mengenai upaya strategis dalam mengurangi kerugian energi, serta menawarkan solusi yang dapat diterapkan pada unit layanan PLN lainnya dengan kondisi operasional yang serupa.

Penelitian ini juga relevan dalam konteks tantangan yang dihadapi oleh sektor kelistrikan Indonesia dalam menghadapi permintaan energi yang terus meningkat. Seiring dengan semakin kompleksnya jaringan distribusi listrik dan meningkatnya konsumsi energi, solusi yang ditawarkan oleh penelitian ini terutama dalam hal penurunan susut teknis diharapkan dapat menjadi langkah nyata dalam meningkatkan efisiensi distribusi energi di Indonesia. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan kebijakan energi yang lebih berkelanjutan dan efisien, serta meningkatkan kualitas pelayanan energi kepada konsumen. Dengan begitu, penelitian ini memiliki dampak yang luas, baik bagi peningkatan efisiensi teknis di tingkat operasional, maupun dalam mendukung upaya pemerintah dan PLN dalam mencapai tujuan keberlanjutan energi nasional yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

METODE

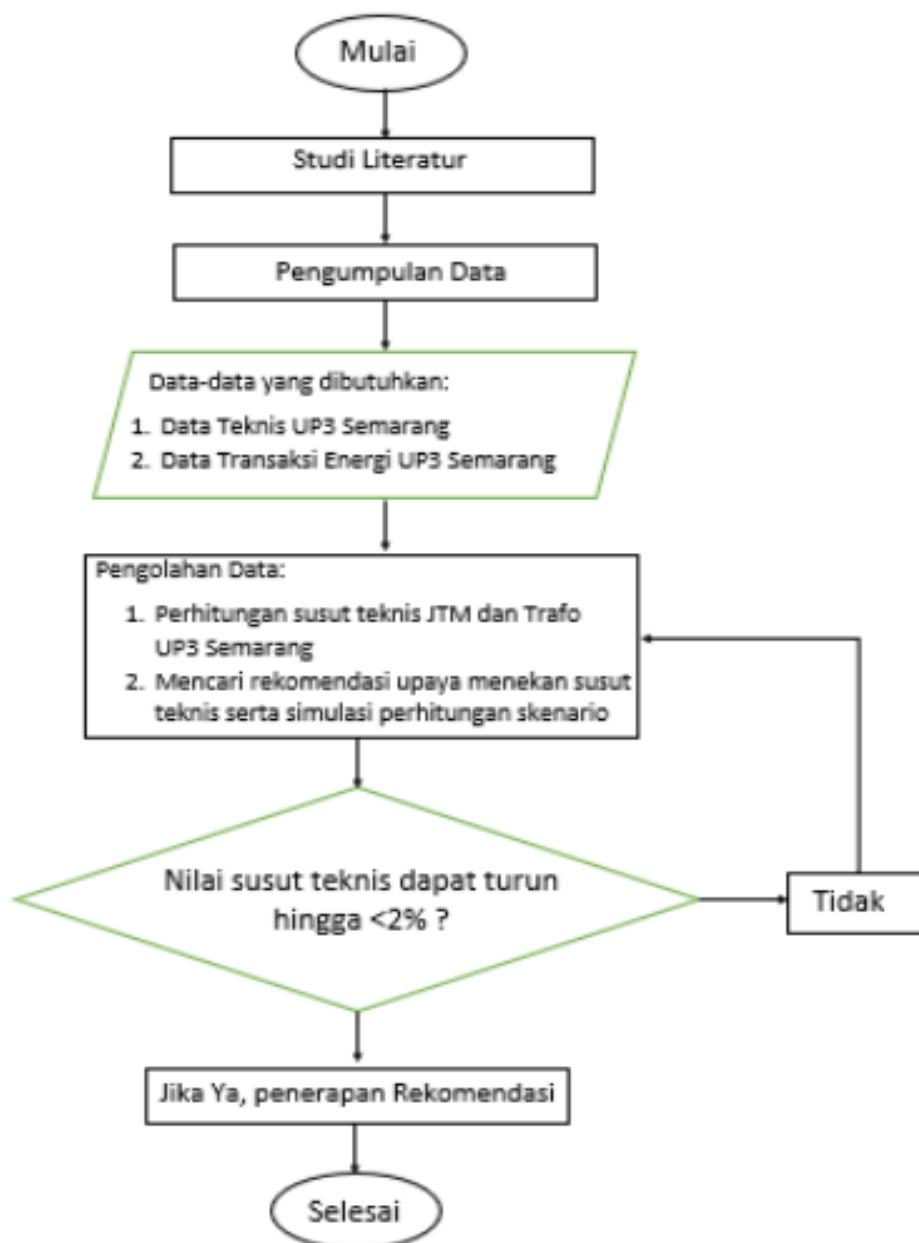
Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT PLN (Persero) UP3 Semarang yang berada di bawah Unit Induk Distribusi (UID) Jawa Tengah dan DIY. Wilayah kerja UP3 Semarang meliputi Kota Semarang, Kabupaten Semarang, dan Kabupaten Kendal dengan karakteristik jaringan distribusi yang beragam. Penelitian dilakukan pada triwulan pertama tahun 2024, yaitu bulan Januari, Februari, dan Maret, dengan menyesuaikan kalender operasional UP3 Semarang. Pemilihan periode triwulan

bertujuan untuk memperoleh data yang konsisten dan representatif terhadap kondisi beban serta aliran energi pada jaringan tegangan menengah.

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain penelitian kuantitatif teknik dengan pendekatan analitis. Fokus utama penelitian adalah perhitungan susut teknis pada jaringan tegangan menengah (JTM) dan transformator distribusi serta analisis alternatif perbaikan untuk menurunkan nilai susut tersebut. Pendekatan perhitungan menggunakan Formula Jogja yang banyak diterapkan dalam evaluasi susut energi jaringan distribusi karena kemampuannya menyederhanakan model aliran energi berdasarkan data operasional PLN. Seluruh proses perhitungan dan analisis dilakukan secara terstruktur menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel sebagai alat bantu hitung utama guna memastikan transparansi, kemudahan replikasi, dan akurasi perhitungan.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Metode Pengumpulan Data

Data penelitian diperoleh dari data primer dan data sekunder yang bersumber dari PT PLN (Persero) UP3 Semarang. Data primer dikumpulkan melalui observasi lapangan yang meliputi kondisi fisik jaringan tegangan menengah, panjang penyulang, kapasitas dan pembebanan transformator distribusi, serta konfigurasi jaringan. Data sekunder diperoleh dari dokumen internal PLN, antara lain data energi masuk jaringan, data penjualan energi pelanggan, data aset jaringan, serta laporan susut energi bulanan. Seluruh data yang dikumpulkan diseleksi dan diverifikasi untuk memastikan kesesuaian dengan kebutuhan analisis perhitungan susut teknis.

Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan melalui beberapa tahapan penting yang mencakup proses perhitungan susut teknis JTM, susut pada transformator, serta perhitungan energi masuk dan energi hilang berdasarkan model aliran energi. Perhitungan dilakukan menggunakan pendekatan *formula jogja* yang merumuskan hubungan antara energi masuk jaringan, susut teknis, dan energi pelanggan. Rumus perhitungan aliran energi dan susut terdapat pada bagian teori dan digunakan kembali dalam tahap analisis ini. Setiap perhitungan dilakukan berdasarkan data aktual triwulan pertama tahun 2024, yaitu bulan Januari, Februari, dan Maret. Hasil analisis kemudian dibandingkan untuk menentukan apakah terdapat pola susut yang konsisten.

Alur Penelitian

Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 dalam bentuk flowchart yang menggambarkan tahapan penelitian secara sistematis. Tahapan tersebut dimulai dari pengumpulan data, verifikasi dan pengolahan data awal, perhitungan susut energi menggunakan Formula Jogja, analisis hasil perhitungan, hingga penarikan kesimpulan dan rekomendasi perbaikan. Penjelasan flowchart ini bertujuan untuk memberikan gambaran runtut mengenai proses penelitian sehingga memudahkan pemahaman serta meningkatkan keterulangan (replicability) penelitian.

Justifikasi Metode

Pemilihan Formula Jogja sebagai metode analisis didasarkan pada pertimbangan bahwa metode ini telah digunakan secara luas dalam studi evaluasi susut energi jaringan distribusi di Indonesia, khususnya pada sistem PLN. Formula Jogja dinilai efektif karena menggunakan parameter operasional yang tersedia di unit distribusi dan mampu memberikan estimasi susut teknis secara praktis namun tetap akurat. Dengan demikian, metode ini relevan untuk diterapkan pada jaringan distribusi PT PLN (Persero) UP3 Semarang sebagai objek penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Transaksi Energi dan Susut pada UP3 Semarang

Data transaksi energi pada UP3 Semarang merupakan dasar untuk menghitung besaran susut energi pada jaringan distribusi, khususnya pada jaringan tegangan menengah. Data ini mencakup energi masuk, energi terjual, serta selisih energi yang terjadi setiap bulan pada triwulan I tahun 2024. Nilai-nilai ini menggambarkan

kemampuan jaringan dalam menyalurkan energi serta tingkat efisiensi penyaluran listrik kepada pelanggan.

Berikut data transaksi energi UP3 Semarang yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1. Data Transaksi Energi UP3 Semarang

| BL/TH | kWh Siap Salur | kWh PSSD | kWh Kirim ke Unit Lain | kWh Jual TUL III 09 | kWh E-min |
|---------------|----------------|--------------|------------------------|---------------------|--------------|
| Januari 2024 | 404.557.197,96 | 1.165.900,16 | 8.899.476,00 | 371.319.778,40 | 5.171.544,00 |
| Februari 2024 | 373.099.522,07 | 1.096.883,46 | 8.584.692,00 | 350.524.238,98 | 5.909.573,00 |
| Maret 2024 | 402.112.283,42 | 1.180.045,45 | 8.351.248,00 | 370.536.173,57 | 5.462.104,00 |

Data energi masuk dan energi terjual pada tabel tersebut memperlihatkan adanya selisih energi yang tidak seluruhnya tersalurkan kepada pelanggan. Selisih tersebut merupakan nilai susut energi yang menjadi fokus utama dalam penelitian ini. Variasi susut yang terjadi pada bulan Januari, Februari, dan Maret menunjukkan bahwa kondisi operasional jaringan serta perubahan beban pelanggan turut memengaruhi besarnya energi hilang pada jaringan distribusi.

Nilai susut energi yang diperoleh pada triwulan tersebut mencerminkan kondisi aktual distribusi energi di UP3 Semarang dan menunjukkan bahwa susut teknis pada jaringan tegangan menengah masih perlu dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui sumber kerugiannya. Hasil perhitungan susut teknis JTM secara rinci dibahas pada sub-bab berikutnya, yang menguraikan arus beban puncak, rugi daya, serta susut teknis jaringan berdasarkan perhitungan *formula jogja*.

Hasil Perhitungan Susut Teknis Jaringan Tegangan Menengah (JTM)

Perhitungan susut teknis jaringan tegangan menengah dilakukan dengan menggunakan data arus beban puncak serta rugi beban yang terjadi pada penyulang di wilayah UP3 Semarang. Besarnya arus beban puncak memberikan gambaran mengenai aliran energi aktual pada jaringan dan menjadi dasar dalam menghitung rugi daya akibat karakteristik konduktor, panjang jaringan, serta variasi beban pelanggan. Berikut data arus beban puncak dan rugi beban puncak JTM:

Tabel 2. Data Arus Beban Puncak dan Rugi Beban Puncak JTM

| Bulan | Jumlah Penyulang | Rugi Beban per Penyulang (kW) |
|----------|------------------|-------------------------------|
| Januari | 135 | 146,30 |
| Februari | 136 | 139,83 |
| Maret | 136 | 142,15 |

Arus beban puncak yang tercantum pada tabel tersebut menunjukkan bahwa setiap penyulang memiliki pola konsumsi listrik yang berbeda, sehingga rugi beban puncak yang terjadi pun bervariasi. Rugi beban yang muncul merupakan energi yang hilang akibat resistansi konduktor yang mempengaruhi efisiensi penyaluran energi pada jaringan tegangan menengah.

Hasil akhir perhitungan susut JTM menggunakan metode *formula jogja* disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 3. Data Susut JTM pada UP3 Semarang

| Bulan | Rugi BP per Penyulang (kW) | LLF | Jam | Energi Input JTM (kWh) | Energi Susut JTM (kWh) | Susut JTM (%) |
|----------|----------------------------|------|-----|------------------------|------------------------|---------------|
| Januari | 152,98 | 0,52 | 744 | 378.730.746,96 | 8.312.137,70 | 2,19 |
| Februari | 146,56 | 0,52 | 696 | 349.126.855,07 | 7.111.945,15 | 2,04 |
| Maret | 147,75 | 0,52 | 744 | 376.227.910,42 | 8.027.966,70 | 2,13 |

Berdasarkan tabel tersebut, nilai susut teknis JTM mencapai 2,19%, lebih besar dibandingkan susut teknis pada transformator. Hal ini menunjukkan bahwa jaringan tegangan menengah menjadi kontributor utama susut energi pada UP3 Semarang. Besarnya susut dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti panjang jaringan, tipe konduktor yang digunakan, arus beban yang berubah-ubah, serta kondisi komponen jaringan yang mengalami degradasi.

Temuan ini memperlihatkan perlunya dilakukan evaluasi terhadap kondisi penyulang, penyusunan ulang beban, maupun upaya perbaikan struktural pada jaringan tegangan menengah. Nilai susut teknis yang muncul pada hasil perhitungan menjadi dasar bagi penyusunan skenario perbaikan yang dibahas lebih lanjut pada bagian berikutnya.

Hasil Perhitungan Susut Teknis Transformator Distribusi

Perhitungan susut teknis pada transformator dilakukan dengan menggunakan data arus beban puncak transformator serta rugi beban yang terjadi selama triwulan I tahun 2024. Perhitungan ini bertujuan untuk menentukan besarnya energi yang hilang pada proses penurunan tegangan dari jaringan tegangan menengah ke jaringan tegangan rendah. Data rugi beban puncak transformator ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4. Data Rugi Beban Puncak Transformator

| Bulan | Energi Terima (kWh) | Jumlah Trafo | Total Daya Trafo (kVA) | LF Trafo | Jam | Fk Trafo | IBP/tr (Amp) | kVA Trafo | Rugi BP Per Trafo (kW) |
|---------------------|-----------------------|--------------|------------------------|-------------|------------|------------|---------------|---------------|------------------------|
| Januari | 229.440.095,36 | 5967 | 736.680 | 0,46 | 744 | 0,8 | 149,80 | 123,17 | 4,09 |
| Februari | 246.691.754,10 | 5973 | 736.710 | 0,46 | 696 | 0,8 | 139,90 | 123,17 | 3,69 |
| Maret | 247.356.369,22 | 5983 | 741.940 | 0,46 | 774 | 0,8 | 150,16 | 123,13 | 4,10 |
| Rata-rata Q1 | 241.162.739,56 | 5974 | 735.785 | 0,46 | 728 | 0,8 | 146,30 | 123,16 | 3,96 |

Rugi beban transformator dihitung berdasarkan arus beban rata-rata, arus beban penuh, serta persentase pembebanan transformator sesuai rumus yang telah dijelaskan pada metode penelitian. Nilai rugi beban yang muncul menggambarkan besaran energi yang hilang akibat proses konversi energi pada transformator distribusi.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa susut teknis pada transformator memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan susut teknis jaringan tegangan menengah. Nilai susut transformator sebesar 1,55% menegaskan bahwa kontributor terbesar susut energi pada UP3 Semarang berasal dari jaringan tegangan menengah, bukan dari peralatan transformator distribusi.

Perbandingan nilai susut antara JTM dan transformator menunjukkan bahwa efisiensi jaringan lebih dipengaruhi oleh kualitas dan karakteristik penyulang, panjang jaringan, serta arus beban yang dialirkan pada jaringan tegangan menengah. Hasil ini menjadi dasar bagi penyusunan alternatif perbaikan yang dibahas pada bagian selanjutnya, khususnya skenario penurunan susut teknis dengan metode penambahan penyulang dan optimasi jaringan distribusi.

Evaluasi Alternatif Penurunan Susut Teknis (Skenario Perbaikan)

Evaluasi alternatif penurunan susut teknis dilakukan untuk mengetahui skenario perbaikan jaringan yang paling efektif dalam mengurangi rugi daya pada jaringan tegangan menengah di UP3 Semarang. Upaya yang dianalisis dalam penelitian ini adalah skenario penambahan penyulang sebagai langkah pemecahan beban pada jaringan yang mengalami arus berlebih sehingga menyebabkan susut energi yang tinggi.

Skenario perbaikan ini disusun berdasarkan kondisi aktual jaringan serta nilai susut teknis yang diperoleh pada perhitungan sebelumnya. Dengan melakukan pemecahan beban melalui penambahan penyulang, arus yang mengalir pada konduktor dapat berkurang, sehingga menurunkan rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan tegangan menengah.

Perbandingan nilai susut sebelum dan sesudah penambahan penyulang disajikan pada tabel berikut:

Tabel 5. Perbandingan Susut Sebelum dan Sesudah Penambahan Penyulang

| Bulan / Skenario | Jumlah Penyulang (Buah) | Panjang JTM (kms) | Node per Penyalung/Jurus an | LF TM | Fakt or Kerj a | Panjang Penyula ng Rata-Rata (kms) | Rata-rata Ibp per Penyulang (Amp) | Taha nan Total TM (Oh m/k m) | Faktor Koreksi |
|---------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------------|-------|----------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|----------------|
| Bulan Januari | 135 | 2.234,93 | 45 | 0,67 | 0,9 | 16,56 | 3.651,10 | 0,33 | 0,84 |
| Skenario 1 – 1 penyulang | 136 | 2.234,93 | 44 | 0,67 | 0,9 | 16,43 | 3.625,19 | 0,33 | 0,84 |
| Skenario 2 – 2 penyulang | 137 | 2.234,93 | 44 | 0,67 | 0,9 | 16,31 | 3.598,73 | 0,33 | 0,84 |
| Skenario 3 – 3 penyulang | 138 | 2.234,93 | 44 | 0,67 | 0,9 | 16,20 | 3.572,65 | 0,33 | 0,84 |
| Skenario 4 – 4 penyulang | 139 | 2.234,93 | 43 | 0,67 | 0,9 | 16,08 | 3.547,90 | 0,33 | 0,84 |
| Skenario 5 – 5 penyulang | 140 | 2.234,93 | 43 | 0,67 | 0,9 | 15,96 | 3.522,56 | 0,33 | 0,84 |
| Skenario 6 – 10 penyulang | 145 | 2.234,93 | 42 | 0,67 | 0,9 | 15,41 | 3.402,06 | 0,33 | 0,84 |

Dari tabel tersebut terlihat bahwa nilai susut teknis jaringan tegangan menengah mengalami penurunan setelah dilakukan skenario penambahan penyulang. Nilai susut sebelumnya sebesar 2,19% turun menjadi 1,71% setelah dilakukan perbaikan.

Penurunan ini menunjukkan bahwa pemecahan beban melalui penambahan penyulang menjadi salah satu langkah yang efektif untuk menekan susut energi pada jaringan distribusi.

Evaluasi lebih lanjut terhadap hasil skenario perbaikan dilakukan dengan menghitung kembali beban penyulang dan rugi beban setelah pemecahan jaringan. Data hasil perhitungan ulang tersebut disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 6. Hasil Perhitungan Beban dan Susut Setelah Penambahan Penyulang

| Bulan / Skenario | Rugi BP Per Penyulang (kW) | Faktor Susut (LLF) | Periode Waktu (Jam) | Energi Input JTM (kWh) | Energi Susut JTM (kWh) | Energi Susut JTM vs Input JTM (%) |
|---------------------------|----------------------------|--------------------|---------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| Bulan Januari | 152,98 | 0,52 | 744 | 378.730.746,96 | 8.312.137,70 | 2,19 |
| Skenario 1 (1 penyulang) | 149,63 | 0,52 | 744 | 378.730.746,96 | 7.872.884,19 | 2,08 |
| Skenario 2 (2 penyulang) | 146,38 | 0,52 | 744 | 378.730.746,96 | 7.758.514,73 | 2,05 |
| Skenario 3 (3 penyulang) | 143,29 | 0,52 | 744 | 378.730.746,96 | 7.650.172,86 | 2,02 |
| Skenario 4 (4 penyulang) | 140,27 | 0,52 | 744 | 378.730.746,96 | 7.543.204,41 | 1,99 |
| Skenario 5 (5 penyulang) | 137,24 | 0,52 | 744 | 378.730.746,96 | 7.433.357,57 | 1,96 |
| Skenario 6 (10 penyulang) | 123,60 | 0,52 | 744 | 378.730.746,96 | 6.933.663,36 | 1,83 |
| Skenario 7 (15 penyulang) | 111,81 | 0,52 | 744 | 378.730.746,96 | 6.488.557,92 | 1,71 |

Hasil perhitungan ulang memperlihatkan bahwa beban yang dialirkan pada masing-masing penyulang mengalami penurunan signifikan sehingga rugi beban teknis pada jaringan juga menurun. Penurunan arus beban berdampak langsung pada pengurangan rugi-rugi energi, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi penyaluran energi listrik pada UP3 Semarang.

Hasil evaluasi akhir terhadap keseluruhan skenario perbaikan ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 7. Rekapitulasi Penurunan Susut Setelah Skenario Perbaikan

| Bulan / Skenario | Teg Sumbe r (kV) | Rugi BP Per Penyulang (kW) | Faktor Susut (LLF) | Periode Waktu (Jam) | Energi Input JTM (kWh) | Energi Susut JTM (kWh) | Energi Susut JTM vs Input JTM (%) |
|---------------------------------|------------------|----------------------------|--------------------|---------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| Bulan Januari | 20 | 152,98 | 0,52 | 744 | 378.730.746,96 | 8.312.137,70 | 2,19 |
| Skenario 8 – Tegangan dinaikkan | 21 | 138,76 | 0,52 | 744 | 378.730.746,96 | 7.539.496,85 | 1,99 |

Rekapitulasi data pada tabel tersebut menegaskan bahwa penambahan penyulang mampu menurunkan susut teknis secara konsisten di seluruh parameter yang dianalisis. Penurunan susut ini menunjukkan bahwa pemecahan jalur distribusi

menjadi lebih seimbang memberikan dampak positif bagi efisiensi energi dan kualitas layanan pada jaringan distribusi PT PLN (Persero) UP3 Semarang.

Temuan ini menunjukkan bahwa skenario penurunan susut berbasis *load balancing* melalui penambahan penyulang dapat menjadi rekomendasi yang dapat diprioritaskan dalam upaya peningkatan kualitas penyaluran energi listrik di UP3 Semarang.

PEMBAHASAN

Pada penelitian ini yang berjudul "Analisis Perhitungan Susut Teknis dan Alternatif Rekomendasi pada Jaringan PT PLN (Persero) UP3 Semarang", metode pengumpulan data yang digunakan adalah dengan cara mengambil data secara langsung di PT PLN (Persero) UID Jawa Tengah dan DIY karena UP3 Semarang berada di wilayah UID Jawa Tengah dan DIY, dimana UP3 Semarang mempunyai tujuh ULP atau Unit Layanan Pelanggan yaitu ULP Semarang Tengah, ULP Semarang Timur, ULP Semarang Selatan, ULP Semarang Barat, ULP Boja, ULP Weleri dan ULP Kendal. Data penelitian tersebut diperlukan untuk melakukan pengolahan data berupa perhitungan dan analisis, sehingga didapatkan hasil dan pembahasan mengenai penelitian ini yang kemudian nanti dicari alternatif rekomendasi upaya penurunan susutnya.

Untuk menyelesaikan penelitian ini data yang diperlukan adalah data transaksi energi dan data teknis dimana data transaksi energi yang dibutuhkan adalah energi yang diterima oleh UP3 Semarang dan yang terjual pada bulan tersebut, selain itu data teknis seperti ada berapa penyulang, transformator, maupun APP yang ada di UP3 Semarang, terutama pada triwulan I tahun 2024 yaitu bulan Januari, Februari dan Maret. Setelah itu diperlukan perhitungan susut total yang dihitung berdasarkan data penerimaan energi (kWh siap salur) dan penjualan energi (kWh jual) dalam bentuk kWh pada Tabel 1.

Dimana pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa kWh siap salur atau yang diterima dari sistem transmisi dan kWh yang terjual pada bulan Januari dan Maret lebih besar jika dibandingkan dengan bulan Februari, hal ini dikarenakan jumlah hari yang berbeda pada bulan Januari dan Maret terdapat 31 hari sedangkan pada bulan Februari hanya 29 hari. kWh PSSD pada tabel adalah energi yang digunakan untuk pemakaian sendiri di kantor UP3 Semarang. Hal ini tentu saja mempengaruhi nilai persentase susut energi yang dihitung setiap bulannya.

Hasil perhitungan susut JTM dan susut trafo memperlihatkan bahwa susut teknis pada jaringan tegangan menengah memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan susut teknis yang terjadi pada transformator. Nilai susut JTM yang mencapai 2,19% menunjukkan bahwa arus beban yang mengalir pada jaringan tegangan menengah memiliki kontribusi utama terhadap besarnya susut energi. Rugi-rugi energi tersebut dipengaruhi oleh besarnya panjang jaringan, variasi arus beban, serta karakteristik konduktor yang digunakan pada setiap penyulang.

Perhitungan arus beban puncak, rugi beban puncak, dan energi hilang pada JTM menunjukkan adanya ketidakseimbangan beban pada beberapa penyulang yang menyebabkan nilai rugi daya yang tinggi. Kondisi tersebut memperkuat temuan bahwa beban yang tidak merata menyebabkan peningkatan rugi-rugi pada jaringan tegangan menengah. Hal inilah yang kemudian menjadi dasar dalam penyusunan alternatif solusi untuk menurunkan besarnya susut teknis.

Salah satu skenario perbaikan yang dianalisis adalah pemecahan beban melalui penambahan penyulang baru. Hasil evaluasi skenario menunjukkan bahwa setelah dilakukan penambahan penyulang, nilai susut JTM mengalami penurunan dari 2,19% menjadi 1,71%. Penurunan ini membuktikan bahwa pembagian beban secara lebih merata melalui penambahan penyulang dapat menurunkan arus beban pada jaringan sehingga rugi-rugi daya yang muncul juga menurun. Nilai arus penyulang yang berkurang setelah tindakan perbaikan berdampak langsung terhadap efisiensi penyuluran energi.

Hasil perhitungan ulang beban penyulang dan nilai susut setelah skenario perbaikan menunjukkan adanya penurunan signifikan pada rugi beban puncak. Data-data tersebut memperlihatkan bahwa rekomendasi perbaikan berupa penambahan penyulang tidak hanya menurunkan susut energi pada satu penyulang saja, melainkan memberikan dampak menyeluruh pada jaringan distribusi di UP3 Semarang. Hal ini memperlihatkan bahwa pemecahan jaringan menjadi lebih seimbang sangat efektif dalam mengurangi susut teknis.

Berdasarkan keseluruhan hasil evaluasi, dapat disimpulkan bahwa jaringan tegangan menengah merupakan sumber utama susut teknis yang perlu mendapat perhatian lebih dalam perencanaan dan pengelolaan jaringan ke depan. Penurunan susut melalui skenario perbaikan yang dilakukan pada penelitian ini memberikan gambaran mengenai pentingnya optimasi penyulang untuk menekan rugi energi dan meningkatkan efisiensi distribusi tenaga listrik di UP3 Semarang.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perhitungan susut teknis total pada PT PLN (Persero) UP3 Semarang, diketahui bahwa susut terbesar terjadi pada bulan Januari dengan nilai 28.343.587,40 kWh atau sebesar 7,01%. Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa susut teknis pada jaringan tegangan menengah sebesar 2,19% lebih tinggi dibandingkan susut teknis pada transformator distribusi yang mencapai 1,55% pada triwulan I. Temuan ini menegaskan bahwa jaringan tegangan menengah merupakan komponen utama penyumbang susut teknis, sehingga menjadi prioritas utama dalam upaya perbaikan dan optimalisasi sistem distribusi.

Implikasi praktis dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa upaya penurunan susut teknis pada jaringan tegangan menengah dapat dilakukan secara efektif melalui optimalisasi konfigurasi jaringan. Dari tiga alternatif perbaikan yang dianalisis, yaitu penambahan penyulang, penggantian jenis penghantar, dan peningkatan tegangan sumber, seluruhnya terbukti mampu menurunkan besaran susut teknis. Secara khusus, penambahan penyulang dan peningkatan tegangan sumber memberikan dampak penurunan susut yang lebih signifikan, karena mampu mengurangi arus beban dan menyeimbangkan distribusi daya pada jaringan. Hasil ini memberikan dasar teknis bagi PT PLN (Persero) UP3 Semarang dalam menentukan strategi prioritas penanganan susut energi.

Dari sisi akademik, penelitian ini memperkuat penerapan Formula Jogja sebagai metode perhitungan susut teknis yang relevan dan aplikatif pada sistem distribusi tenaga listrik di Indonesia. Namun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena hanya berfokus pada aspek teknis perhitungan tanpa mempertimbangkan biaya investasi, analisis kelayakan ekonomi, maupun return on investment (ROI) dari masing-masing alternatif perbaikan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan analisis teknis dan ekonomi serta

menguji implementasi langsung skenario perbaikan pada unit layanan PLN lain dengan karakteristik beban yang lebih tinggi dan konfigurasi jaringan yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanti, R. F. (n.d.). *Identifikasi penyebab susut energi listrik PT PLN (Persero) Area Semarang menggunakan metode Failure Mode & Effect Analysis (FMEA)*.
- Basri, H., & Wiharja, U. (2022). Studi pendekatan Formula Jogja pada jaringan distribusi PT PLN UP3 Pondok Gede. *Jurnal ELECTRA: Electrical Engineering Articles*, 3(1), 1-7.
- Chicco, G. (2012). Overview and performance assessment of the clustering methods for electrical load pattern grouping. *Energy*, 42(1), 68-80.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.12.031>
- Chuwa, M. G., Ngondya, D., & Mwifunyi, R. (2025). Comparative analysis of data transformation methods for detecting non-technical losses in electricity grids. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 170, 110907.
<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2025.110907>
- Costa, M. T. (Maria T., Davi-Arderius, D., & Trujillo-Baute, E. (2018). *The economic impact of electricity losses*. <https://hdl.handle.net/2445/127163>
- Hasibuan, A., Afrizal, A., Fariadi, D., & Nisa, F. (2023). Perhitungan susut dengan membandingkan perhitungan PT PLN ULP Lhokseumawe Kota dengan perhitungan software ETAP setelah dilakukan perubahan pola operasi tahun 2023. *TESLA*, Advance online publication. <https://doi.org/10.24912/tesla>
- Kåberger, T. (2018). Progress of renewable electricity replacing fossil fuels. *Global Energy Interconnection*, 1(1), 48-52. <https://doi.org/10.14171/j.2096-5117.gei.2018.01.006>
- Lazkano, I., Nøstbakken, L., & Pelli, M. (2017). From fossil fuels to renewables: The role of electricity storage. *European Economic Review*, 99, 113-129.
<https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2017.03.013>
- Manalu, J. T., Panggabean, S. M., Napitupulu, J., Sinaga, J., & Jumari. (2023, March). *Analisa rugi-rugi daya pada saluran distribusi tegangan menengah 20 kV di PT PLN (Persero) UP3 Sibolga*.
- Ohee, E. M., & Mangopo, D. (2022). Analisis perbaikan susut daya pada jaringan distribusi PT PLN (Persero) ULP Jayapura penyulang Bougenville. *Jurnal Sains dan Teknologi (SAINTEK)*, 1(2), 124-135.
- Rehman, A., Rauf, A., Ahmad, M., Chandio, A. A., & Deyuan, Z. (2019). The effect of carbon dioxide emission and the consumption of electrical energy, fossil fuel energy, and renewable energy, on economic performance: Evidence from Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(21), 21760-21773.
<https://doi.org/10.1007/s11356-019-05550-y>
- Savian, F. de S., Siluk, J. C. M., Garlet, T. B., Nascimento, F. M. do, & Pinheiro, J. R. (2021). Non-technical losses in electricity distribution: A bibliometric analysis. *IEEE Latin America Transactions*, 19(3), 359-368.
- Syukri, S., Muliadi, M., & Akbar, A. (2024). Analisa perhitungan susut teknis di PT PLN (Persero) Rayon Singkil. *Elektrika*, 16(1), 20.
<https://doi.org/10.26623/elektrika.v16i1.8854>

- Tsygulev, N., Khlebnikov, V., & Voronina, Y. (2020). Methods of Calculating Technological Losses Electrical Energy in Electricity Networks. 2020 *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/FarEastCon50210.2020.9271351>
- Viegas, J. L., Esteves, P. R., Melício, R., Mendes, V. M. F., & Vieira, S. M. (2017). Solutions for detection of non-technical losses in the electricity grid: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1256–1268. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.193>
- Wafiq, B., Sahidanto, M. H. S., Zain, H. A., Nurulita, F. A., & Putri, T. E. (2023). Analisis susut daya jaringan sebagai skema opsi penentuan jalur manuver jaringan distribusi 20 kV penyulang PWO2 PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Purworejo. *Jurnal Dimensi Teknik Sipil*. 4(2).
- Wijayanto, H., & Sunitiyoso, Y. (2019). Scenario Planning of Electricity Needs In Indonesia for The Next Ten Years. *Jurnal Manajemen Teknologi*, 18, 54–70. <https://doi.org/10.12695/jmt.2019.18.1.4>