

ANALISIS JATUH TEGANGAN PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH PENYULANG MALEO PT PLN (PERSERO) ULP JAYAPURA

Muh. Nasrul¹, Marthen Liga², Handoko³

^{1,2,3} Fakultas Teknik/Universitas Cenderawasih/Indonesia

Email: nasrul@el.ftuncen.ac.id

Info Artikel

Histori Artikel:

Diterima 25 01, 2025

Direvisi 28 02, 2025

Disetujui 07 03, 2025

ABSTRACT

Voltage drop (ΔV) affects the quality of voltage in the 20 kV Medium Voltage Network (JTM). This study evaluates ΔV on the Maleo Feeder at PT PLN (Persero) ULP Jayapura using manual calculations based on conductor impedance and ETAP 19.0.1 load flow simulations. The data includes the AAAC 150 mm² conductor type ($R = 0.2162 \Omega/\text{km}$, $X = 0.3305 \Omega/\text{km}$), load mapping for 29 distribution substations, and the length of each segment. Manual calculations are performed by summing cumulative currents from the end to the source and calculating ΔV per segment; the ETAP simulation models the actual branching topology, line parameters, and load characteristics (kVA, power factor). The results show a total manual ΔV of 7.053 V (0.035% of 20 kV) and an ETAP ΔV of 67.536 V ($\approx 0.338\%$). Both values are below the tolerance limit of SPLN 72:1987 ($\leq 5\%$), indicating reliable voltage regulation on the feeder. Critical ΔV points were identified around bus 4, suggesting the need for optimization of segment cross-sections/load redistribution, and verification of power factor. These findings provide a technical foundation for efforts to improve voltage performance based on simulations and field measurements.

Keywords: 20 kV Medium Voltage Network, Maleo Feeder, voltage drop, ETAP 19.0.1, SPLN 72:1987.

ABSTRAK

Jatuh tegangan (ΔV) memengaruhi mutu tegangan pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV. Studi ini mengevaluasi ΔV pada Penyulang Maleo PT PLN (Persero) ULP Jayapura menggunakan perhitungan manual berbasis impedansi penghantar dan simulasi aliran daya ETAP 19.0.1. Data mencakup tipe konduktor AAAC 150 mm² ($R = 0,2162 \Omega/\text{km}$, $X = 0,3305 \Omega/\text{km}$), peta beban 29 gardu distribusi, serta panjang tiap ruas. Perhitungan manual dilakukan dengan menjumlahkan arus kumulatif dari ujung ke sumber dan menghitung ΔV per ruas; simulasi ETAP memodelkan topologi percabangan aktual, parameter saluran, serta karakteristik beban (kVA, faktor daya). Hasil menunjukkan ΔV total manual 7,053 V (0,035% dari 20 kV) dan ΔV ETAP 67,536 V ($\approx 0,338\%$). Kedua nilai berada di bawah batas toleransi SPLN 72:1987 ($\leq 5\%$), sehingga regulasi tegangan pada penyulang dikategorikan andal. Titik kritis ΔV teridentifikasi di sekitar bus 4, yang mengindikasikan perlunya optimalisasi penampang ruas/redistribusi beban serta verifikasi faktor daya. Temuan ini menyediakan dasar teknis bagi upaya peningkatan kinerja tegangan berbasis simulasi dan pengukuran lapangan.

Kata Kunci: JTM 20 kV, Penyulang Maleo, jatuh tegangan, ETAP 19.0.1, SPLN 72:1987.

Penulis Korespondensi:

Muh. Nasrul,

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik,

Universitas Cenderawasih,

Email: nasrul@el.ftuncen.ac.id

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah pelanggan dan perubahan pola konsumsi energi di sistem distribusi perkotaan dan pinggiran kota mendorong kenaikan arus pada jaringan, yang pada gilirannya meningkatkan jatuh tegangan (ΔV) terutama pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV. Jatuh tegangan yang berlebih dapat menurunkan mutu tegangan di sisi pelanggan, memicu gangguan peralatan, memperbesar rugi-rugi daya, serta menurunkan keandalan pelayanan. Oleh karena itu, pengendalian ΔV menjadi salah satu indikator utama kinerja jaringan distribusi yang harus dipantau secara berkala.

Di Indonesia, acuan mutu tegangan pada jaringan distribusi merujuk pada SPLN 72:1987 yang merekomendasikan batas toleransi $\Delta V \leq 5\%$ dari tegangan kirim. Memastikan seluruh titik pada penyulang tetap berada di bawah batas tersebut membutuhkan pendekatan analitis yang mempertimbangkan impedansi saluran (R, X), faktor daya beban, panjang dan konfigurasi ruas, serta topologi percabangan. Dalam praktik, dua pendekatan umum digunakan: (1) perhitungan manual berbasis parameter saluran yang memberikan transparansi langkah dan kemudahan verifikasi, serta (2) simulasi aliran daya (load flow) dengan perangkat lunak seperti ETAP, yang mampu merepresentasikan detail percabangan, model beban, dan interaksi elemen jaringan secara lebih komprehensif.

Penelitian ini berfokus pada Penyulang Maleo (20 kV) di PT PLN (Persero) ULP Jayapura, yang menyalurkan daya ke 29 gardu distribusi menggunakan konduktor AAAC 150 mm². Dalam beberapa tahun terakhir, penyulang ini mengalami pertumbuhan beban yang tidak merata pada sejumlah cabang, sehingga diperlukan evaluasi menyeluruh terhadap profil tegangan untuk memastikan kesesuaian dengan standar mutu serta mengidentifikasi titik-titik kritis yang berpotensi melampaui batas toleransi pada kondisi beban puncak.

Tabel 1. Data Penyulang Maleo

Item	Nilai
Tegangan kirim	20 kV
Jenis konduktor	AAAC 150 mm ²
Tahanan per km	0,2162 Ω /km
Reaktans per km	0,3305 Ω /km
Jumlah gardu distribusi	29
Periode data	Maret–Juni 2024

Terdapat kesenjangan praktis yang ingin dijawab: studi lapangan sering kali menampilkan hasil salah satu metode saja (manual *atau* simulasi), sehingga triangulasi antar-metode kurang diekspos, padahal konsistensi hasil sangat penting bagi pengambilan keputusan operasional (misalnya penataan ulang beban, pergantian penampang, atau konfigurasi ulang jaringan). Selain itu, dokumentasi basis data beban per gardu, panjang ruas, dan parameter saluran yang rapi dan replikatif masih jarang disertakan, sehingga menyulitkan audit teknis di masa mendatang.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada Penyulang Maleo 20 kV milik PT PLN (Persero) ULP Jayapura dengan cakupan 29 gardu distribusi. Data yang dihimpun meliputi jenis penghantar AAAC 150 mm² beserta parameter tahanan dan reaktans per kilometer, panjang tiap ruas berdasarkan pemetaan lapangan, serta daya semu dan faktor daya tiap gardu pada periode Maret–Juni 2024 (mewakili kondisi beban puncak). Sistem diasumsikan tiga fasa seimbang; bila faktor daya suatu gardu tidak tersedia, digunakan nilai praktik operasi yang umum.

Perhitungan manual dilakukan dengan menyusun arus beban tiap gardu dari data daya, lalu mengakumulasi sepanjangan lintasan dari ujung ke sumber untuk mendapatkan jatuh tegangan per ruas dan total pada setiap cabang. Hasil perhitungan manual ini kemudian divalidasi melalui simulasi aliran daya menggunakan ETAP 19.0.1. Model ETAP dibangun sesuai topologi aktual, meliputi penamaan bus, panjang ruas, parameter saluran, serta pemodelan beban sebagai daya konstan pada titik sambung gardu. Simulasi dijalankan pada kondisi beban puncak untuk memperoleh profil tegangan, arus ruas, serta lokasi dengan tegangan terendah. Evaluasi kepatuhan mengacu pada standar SPLN 72:1987 (batas jatuh tegangan lima persen dari

tegangan kirim), sekaligus membandingkan hasil manual dan simulasi guna mengidentifikasi titik kritis dan merumuskan rekomendasi teknis seperti penataan ulang beban, peningkatan penampang, atau perbaikan faktor daya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan manual menunjukkan bahwa total jatuh tegangan pada Penyulang Maleo berada pada kisaran 7,053 volt atau sekitar 0,035 persen terhadap tegangan kirim 20 kV. Nilai ini diperoleh dari penjumlahan jatuh tegangan per ruas sepanjang lintasan utama dan cabang, dengan arus kumulatif yang dihitung dari ujung sistem menuju sumber. Profil yang terbentuk relatif landai; sebagian besar ruas mempertahankan mutu tegangan yang baik, sementara penurunan yang lebih nyata tampak pada ruas yang melayani beban lebih padat serta memiliki panjang konduktor yang lebih besar.

Hasil simulasi aliran daya menggunakan ETAP 19.0.1 memperlihatkan total jatuh tegangan 67,536 volt, setara dengan kurang lebih 0,338 persen dari tegangan kirim. Peta warna tegangan dari simulasi menegaskan adanya zona dengan margin tegangan lebih tipis di sekitar bus 4. Pada area ini, kombinasi panjang ruas, arus yang relatif tinggi, dan kontribusi reaktansi saluran mendorong penurunan tegangan yang lebih dominan dibanding titik lainnya. Meskipun demikian, nilai minimum tegangan yang diprediksi tetap berada dalam rentang mutu pelayanan yang dapat diterima.

Tabel 2. Perbandingan Jatuh Tegangan Manual vs ETAP

Parameter	Perhitungan Manual	Simulasi ETAP
Jatuh tegangan total (volt)	7,053	67,536
Persentase terhadap 20 kV	0,035%	≈ 0,338%
Titik kritis	— (<i>manual</i>)	Sekitar bus 4

Perbandingan kedua pendekatan menampilkan selisih yang cukup lebar secara absolut, namun tetap kecil jika dinyatakan sebagai persentase terhadap 20 kV. Simulasi menghasilkan jatuh tegangan yang lebih besar dibanding perhitungan manual. Hal ini wajar karena model perangkat lunak merepresentasikan detail jaringan secara lebih lengkap, termasuk pengaruh percabangan, distribusi arus pada

beberapa lintasan, impedansi transformator dan sambungan, serta model beban yang memuat komponen reaktif. Sementara itu, perhitungan manual cenderung melakukan penyederhanaan, misalnya melalui asumsi keseimbangan fasa, pemaketan beban, atau penggunaan parameter saluran berbasis katalog tanpa koreksi kondisi lapangan seperti temperatur operasi dan kualitas sambungan. Perbedaan angka juga dapat dipicu oleh ketelitian data panjang ruas dan variasi faktor daya aktual yang berubah sepanjang waktu.

Secara regulatif, kedua hasil tetap memenuhi ambang batas yang ditetapkan SPLN 72:1987 yaitu tidak lebih dari lima persen. Ini menandakan bahwa, pada kondisi data yang tersedia, Penyulang Maleo memiliki regulasi tegangan yang andal dan layak operasi. Namun, keberadaan titik kritis di sekitar bus 4 perlu diperhatikan sebagai prioritas pengelolaan. Dari sudut pandang teknis, terdapat beberapa opsi perbaikan yang dapat dipertimbangkan. Peningkatan penampang konduktor pada ruas yang paling membatasi akan menurunkan impedansi dan memperkecil penurunan tegangan lokal. Redistribusi beban antar cabang yang saat ini relatif berat pada satu lintasan dapat membantu menyeimbangkan arus dan mengurangi akumulasi penurunan tegangan. Penerapan perbaikan faktor daya melalui penempatan kapasitor pada lokasi strategis di hilir juga berpotensi meningkatkan profil tegangan sekaligus mengurangi arus yang harus disalurkan. Di sisi hulu, peninjauan ulang setelan penyadapan trafo atau kebijakan pengaturan tegangan sumber dapat memberikan tambahan margin pada saat beban puncak, dengan tetap menjaga batas atas mutu tegangan.

Tabel 3. Rekomendasi Perbaikan Teknis

Opsi Perbaikan	Dampak pada Jatuh Tegangan	Rekomendasi
Peningkatan penampang konduktor	Menurunkan impedansi ruas	Tingkatkan penampang di ruas dengan ΔV tertinggi
Redistribusi beban	Menyeimbangkan arus lintasan	Penataan ulang beban pada cabang tertentu
Perbaikan faktor daya	Mengurangi arus dan ΔV	Pasang kapasitor di bus hilir yang kritis

Temuan ini menegaskan pentingnya pendekatan ganda antara perhitungan manual dan simulasi. Perhitungan manual memberikan transparansi langkah dan kemudahan pelacakan sumber penurunan pada setiap ruas, sedangkan simulasi menyajikan gambaran

menyeluruh yang lebih realistis terhadap interaksi elemen jaringan. Konsistensi keduanya di bawah ambang batas memperkuat kesimpulan bahwa penyulang bekerja dalam kondisi yang aman, sementara selisih yang muncul memberikan sinyal area yang perlu kalibrasi data atau intervensi teknis terbatas agar margin mutu tegangan semakin lebar.

4. KESIMPULAN

Studi pada Penyulang Maleo 20 kV menunjukkan bahwa profil tegangan masih berada dalam batas mutu layanan. Perhitungan manual menghasilkan total jatuh tegangan sekitar 7,053 volt atau 0,035 persen dari tegangan kirim, sedangkan simulasi aliran daya di ETAP menunjukkan 67,536 volt atau sekitar 0,338 persen. Kedua nilai tersebut memenuhi ambang yang direkomendasikan oleh SPLN 72:1987, sehingga regulasi tegangan pada penyulang dapat dikategorikan andal untuk kondisi data dan asumsi yang digunakan.

Perbedaan angka antara metode manual dan simulasi wajar terjadi karena model perangkat lunak merepresentasikan detail jaringan secara lebih komprehensif, termasuk percabangan, karakteristik beban, serta komponen reaktif pada saluran dan peralatan. Meskipun demikian, keduanya konsisten menandai area dengan margin tegangan paling tipis di sekitar bus 4. Temuan ini mengindikasikan perlunya prioritas penanganan di ruas terkait melalui peningkatan penampang konduktor atau redistribusi beban, disertai upaya perbaikan faktor daya dan verifikasi kembali data panjang ruas serta parameter beban di lapangan agar margin mutu tegangan semakin aman pada saat beban puncak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. S. Rajaar, "Analisa Perhitungan Drop Tegangan dan Rugi-rugi Daya Menggunakan ETAP 19.0.1 pada Jaringan Distribusi PT PLN (Persero) ULP Genyem," *Jurnal Teknik Elektro Universitas Cenderawasih*, 2023.
- [2] A. A. P. Padatu, "Analisis Voltage Drop Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Menggunakan ETAP 19.0.1 pada Penyulang Rajawali PT PLN (Persero) ULP Jayapura," *Jurnal Teknik Elektro Universitas Cenderawasih*, 2023.
- [3] H. Basri, *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Jakarta: ISTN, 1997.
- [4] M. T. Payung, "Studi Perhitungan Drop Tegangan dan Susut Daya (Losses) pada Penyulang PLBN PT PLN (Persero) ULP Abepura," *Jurnal Teknik Elektro Universitas Cenderawasih*, 2022.
- [5] M. Mujiburrahman, J. Joko, B. Suprianto, dan U. T. Kartini, "Analisis Tegangan Jatuh (Drop Voltage) pada Unit Boiler di PPSDM Migas Cepu Menggunakan ETAP 12.6," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 10, no. 3, pp. 757-768, 2021.
- [6] P. Pebriati dan S. T. Umar, "Analisa Jatuh Tegangan pada Sistem Jaringan Distribusi 20 kV di Gardu Induk Solo Baru Menggunakan Software ETAP 12.06," Disertasi Doktor, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2020.
- [7] PT PLN (Persero), *Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik (Buku 4)*. Jakarta Selatan: PT PLN (Persero), 2010.
- [8] PT PLN (Persero), *Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik (Buku 5)*. Jakarta Selatan: PT PLN (Persero), 2010.
- [9] P. Rabbani, D. Susanto, dan M. N. Qosim, "Analisis Rugi Daya dan Jatuh Tegangan pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Penyulang Barito GI CSW," Disertasi Doktor, Institut Teknologi PLN, 2020.
- [10] Suprianto, "Analisa Tegangan Jatuh pada Jaringan Distribusi 20 kV PT PLN Area Rantau Prapat Rayon Aek Kota Batu," **1099**, pp. 64-72, 2005.