

Analisa Rugi Daya, Drop Tegangan dan Perbaikan pada Sistem Distribusi Penyulang Keboansikep PT PLN (Persero) UP3 Sidoarjo

Oleh:

**Fendy Steyo Pradana,
Jamaaluddin**

Progam Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Oktober 2025



Pendahuluan

Pentingnya Energi Listrik di Era Industri 5.0

- Energi listrik menjadi kebutuhan vital bagi industri dan rumah tangga
- Keandalan sistem kelistrikan sangat menentukan kelangsungan operasional industri

Permasalahan dalam Distribusi Listrik

- Terjadi **rugi daya** dan **drop tegangan** akibat resistansi penghantar
- Rugi daya dipengaruhi oleh: panjang & jenis konduktor, besar arus, luas penampang

Dampak Rugi Daya & Drop Tegangan

- Mengurangi efisiensi sistem distribusi
- Menyebabkan kerugian ekonomi bagi penyedia listrik (PLN)
- Energi yang dikirim tidak seluruhnya sampai ke pelanggan

Kasus Penelitian: Penyulang Keboansikep

- Menyuplai PT Pakarti Riken (15 MVA) dari GI Buduran
- Beban meningkat seiring pertumbuhan industri di Sidoarjo
- Potensi rugi daya dan drop tegangan meningkat

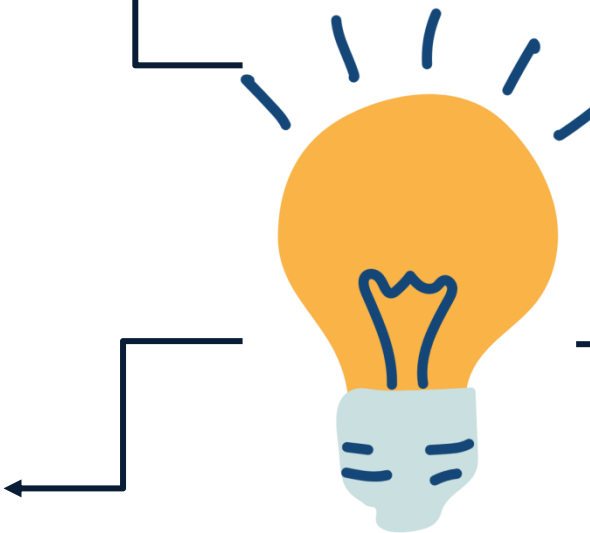
Pendahuluan

Tujuan Penelitian

1. Menganalisis besar rugi daya dan *voltage drop* pada kondisi eksisting jaringan distribusi Penyulang Keboansikep

3. Mengevaluasi dua skenario perbaikan teknis yang meliputi peningkatan luas penampang konduktor dan penambahan *feeder* baru.

2. Menghitung potensi kerugian energi dan biaya akibat inefisiensi distribusi



Metode

Metode Penelitian

Deskriptif kuantitatif dengan studi kasus pada sistem distribusi Penyulang Keboansikep – PT PLN (Persero) UP3 Sidoarjo

Sumber Data

- Data aktual: beban distribusi, jenis penghantar, panjang saluran, konfigurasi jaringan.
- Data diperoleh melalui observasi & dokumentasi PLN.
- Data beban diambil dari operasional bulan April 2025 (pelanggan industri besar).

Analisi Data

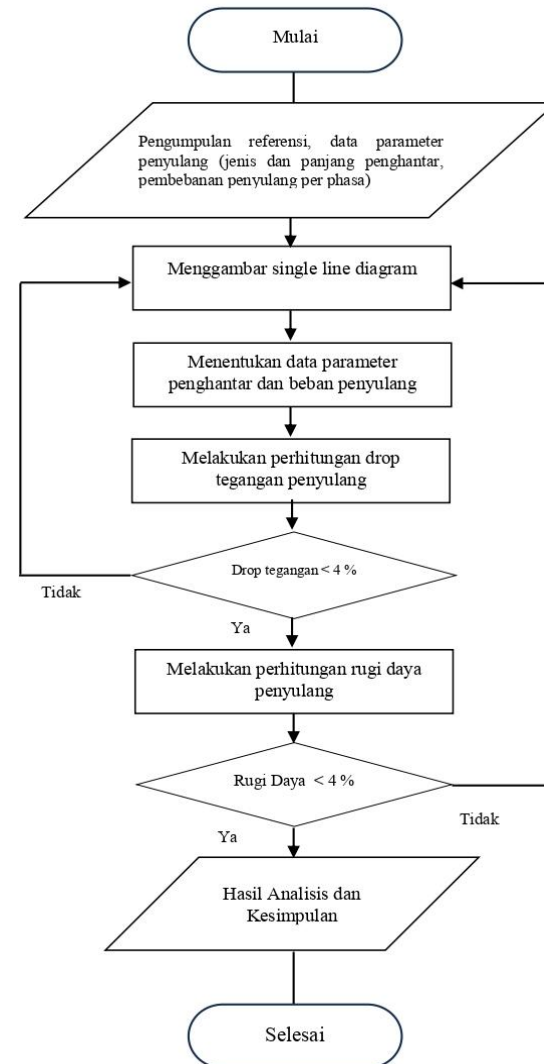
- Perhitungan rugi daya: menggunakan rumus dasar rugi daya penghantar.
- Penurunan tegangan: menggunakan persamaan (I , R , X , sudut fase).
- Hasil dibandingkan dengan SPLN 72:1987 sebagai standar teknis.

Software:

- Microsoft Excel
- ETAP Power Station → simulasi & validasi hasil perhitungan

Diagram Alir Penelitian

Diagram Alir Penelitian



Pembahasan

Kondisi Penyulang Saat Ini (Existing Condition)

Rugi daya relatif tinggi, terutama pada SUTM

Rincian losses:

- SUTM: 211,80 kW (terbesar, akibat panjang saluran, beban tinggi, konduktor terbatas)
- SKTM: 26,52 kW (lebih rendah, resistansi kecil).
- Trafo 150/20 kV: 7,79 kW (normal, tetap berkontribusi).
- Beban pelanggan: 15 MVA, demand load $\pm 80\%$ kapasitas.
- Voltage drop mendekati batas toleransi SPLN 72:1987 ($<4\%$).

Penyebab utama losses:

- Jarak SUTM jauh dari GI $\rightarrow$ resistansi tinggi.
- Beban puncak besar (arus tinggi $\rightarrow I^2R$ losses)
- Penampang konduktor terbatas.
- Tidak ada pembagian beban antar feeder.

SLD Penyulang Keboansikep Kondisi Eksisting in Perbaikan Penyulang Berdasarkan Simulasi ETAP



Pembahasan

Opsi Perbaikan 1 – Penggantian Konduktor

Konduktor SUTM & SKTM 150 mm² diganti → penampang 240 mm²

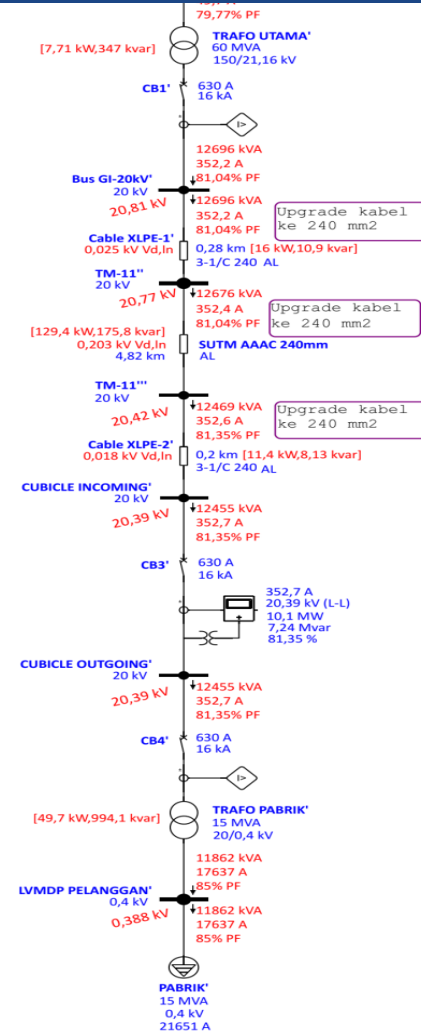
Hasil simulasi ETAP:

- SUTM losses: 211,80 → 129,40 kW
- SKTM losses: 26,52 → 15,97 kW
- Trafo losses: 7,79 → 7,71 kW
- Voltage drop: 3,8% → 2,5%

Dampak: efisiensi meningkat, voltage profile lebih stabil, hemat energi jangka panjang.

Pembahasan

Single Line Diagram Penyulang Keboansikep Opsi 1



Pembahasan

Opsi Perbaikan 2 – Penambahan Feeder Baru

Penambahan 1 feeder paralel (SUTM & SKTM 150 mm²)

Tujuan: *load splitting* → arus terbagi, losses & voltage drop turun signifikan

Hasil simulasi ETAP:

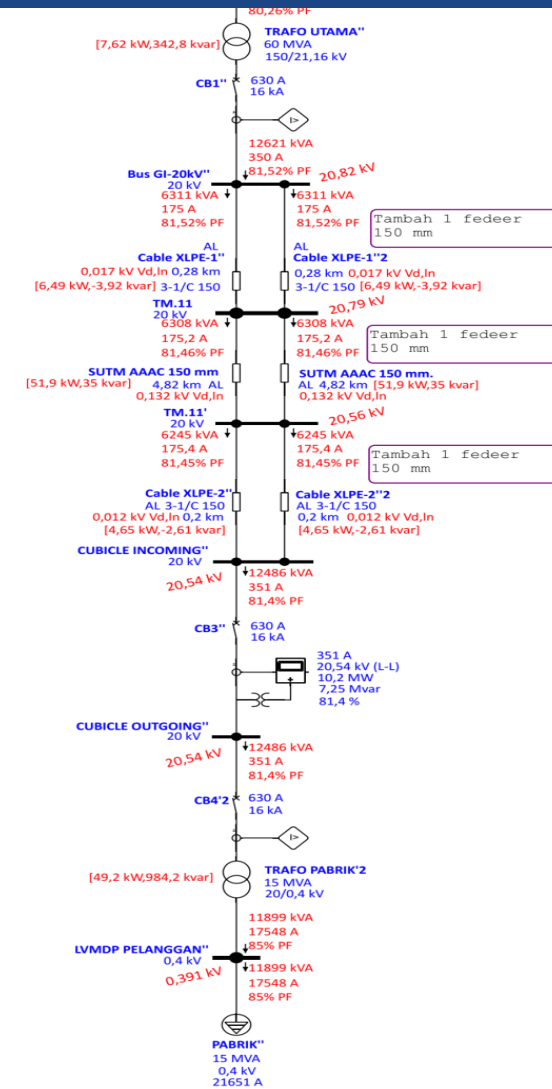
- SUTM losses: 51,89 kW per feeder
- SKTM losses: 6,49 kW per feeder
- Trafo losses: 7,62 kW
- Voltage drop: $\pm 1,2\%$ ($< 4\%$)

Dampak:

- Distribusi arus lebih merata.
- Keandalan meningkat (load transfer saat gangguan)
- Tegangan lebih stabil → penting untuk pelanggan industri (mis. PT Pakarti Riken Indonesia)

Pembahasan

Single Line Diagram Penyulang Keboansikep Opsi 2



Hasil

Perbandingan Rugi Daya dan *Voltage Drop* Penyulang Keboansikep

Parameter	Kondisi Eksisting	Opsi 1 – Konduktor 240 mm ²	Opsi 2 – +1 Feeder (150 mm ²)
Losses SUTM (kW)	211,80	129,40	51,89 (<i>per feeder</i>)
Losses SKTM (kW)	26,52	15,97	6,49 (<i>per feeder</i>)
Losses Trafo (kW)	7,79	7,71	7,62
Voltage Drop Maks (%)	±3,8 %	±2,5 %	±1,2 %
Beban Pelanggan (MVA)	15,00	15,00	15,00 (terbagi)

Berdasarkan hasil simulasi *ETAP 21.0.1*, perbandingan teknis antara kondisi eksisting, Opsi 1, dan Opsi 2 menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan pada aspek rugi daya (*power losses*), penurunan tegangan (*voltage drop*), serta stabilitas dan keandalan sistem distribusi.

Hasil

Perbandingan *Voltage Profile* pada Kondisi *Eksisting*, Opsi 1, dan Opsi 2

No. Bus	Tegangan Eksisting (kV)	Tegangan Opsi 1 (kV)	Tegangan Opsi 2 (kV)
Bus 1	20,00	20,00	20,00
Bus 2	19,45	19,65	19,85
Bus 3	19,30	19,55	19,80
Bus 4	19,25	19,50	19,78
Bus 5	19,20	19,48	19,75
Bus 6	19,15	19,45	19,73
Bus 7	19,12	19,42	19,72
Bus 8	19,10	19,40	19,70

Perbandingan Total Rugi Daya (*Total Losses*) pada Tiga Kondisi

Komponen	Eksisting (kW)	Opsi 1 – Konduktor 240 mm ² (kW)	Opsi 2 – +1 Feeder (kW)
SUTM	211,80	129,40	51,89
SKTM	26,52	15,97	6,49
Trafo Utama	7,79	7,71	7,62
Total	246,11	153,08	65,99

Hasil

Persentase Penurunan Losses dan Peningkatan Tegangan Rata-Rata

Parameter	Eksisting	Opsi 1 – Konduktor 240 mm ²	Opsi 2 – +1 <i>Feeder</i>	Penurunan / Peningkatan dari Eksisting
Total Losses (kW)	246,11	153,08	65,99	Opsi 1: ↓ 37,8% / Opsi 2: ↓ 73,2%
Rugi Daya SUTM (kW)	211,80	129,40	51,89	Opsi 1: ↓ 38,9% / Opsi 2: ↓ 75,5%
Rugi Daya SKTM (kW)	26,52	15,97	6,49	Opsi 1: ↓ 39,8% / Opsi 2: ↓ 75,5%
Tegangan Rata- Rata di Bus (kV)	19,32	19,56	19,79	Opsi 1: ↑ 1,24% / Opsi 2: ↑ 2,43%
Voltage Drop Maksimum (%)	±3,8 %	±2,5 %	±1,2 %	Opsi 1: ↓ 34,2% / Opsi 2: ↓ 68,4%

Opsi 1 dan Opsi 2 memberikan dampak positif terhadap penurunan rugi daya (*losses*) dan peningkatan tegangan rata-rata pada seluruh *bus* jaringan distribusi. Pada kondisi eksisting, total *losses* mencapai 246,11 kW, dengan kontribusi terbesar berasal dari *Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)* sebesar 211,80 kW atau sekitar 86% dari total kerugian.

Hasil

Analisis Ekonomi Perbandingan Opsi Perbaikan Perbandingan Rugi Energi dan Kerugian Biaya Tahunan

Kondisi	Losses Total (kW)	Energi Hilang (kWh/tahun)	Tarif (Rp/kWh)	Biaya Kerugian (Rp/tahun)
Eksisting	246,11	2.155.923,60	1.085,68	2.338.702.071,65
Opsi 1 – Konduktor 240 mm ²	153,08	1.340.980,80	1.085,68	1.455.213.244,94
Opsi 2 – +1 Feeder	65,99	578.072,40	1.085,68	626.949.153,63

Estimasi biaya investasi untuk Opsi 1 adalah sekitar Rp 2 miliar untuk penggantian konduktor pada jalur eksisting, sedangkan Opsi 2 membutuhkan investasi lebih besar yakni sekitar Rp 6 miliar untuk pembangunan jalur *feeder* baru lengkap dengan peralatan.

Penghematan Tahunan dan Periode Pengembalian Investasi

Kondisi pembanding	Biaya Kerugian (Rp/tahun)	Penghematan vs Eksisting (Rp/tahun)	Estimasi Investasi (Rp)	<i>Payback Period</i> (tahun)
Eksisting	2.338.702.071,65	—	—	—
Opsi 1 – Konduktor 240 mm ²	1.455.213.244,94	883.488.826,71	2.000.000.000	2,26
Opsi 2 – +1 Feeder	626.949.153,63	1.711.752.918,02	6.000.000.000	3,50

Opsi 1 memiliki periode pengembalian investasi lebih singkat, yaitu sekitar 2,26 tahun, sedangkan Opsi 2 memerlukan waktu $\pm 3,50$ tahun.

Kesimpulan

Kondisi Eksisting

- Rugi daya signifikan, khususnya pada SUTM: 211,80 kW.
- Dampak: kerugian energi tahunan $\pm$ Rp 2,34 Miliar.
- Penyebab: impedansi tinggi, distribusi beban tidak merata.
- Voltage drop mendekati batas SPLN ($\pm 3,8\%$).

Opsi 1 – Penggantian Konduktor (240 mm²)

Rugi daya SUTM turun 38,9% → voltage drop membaik ($\pm 2,5\%$).

Biaya rugi energi turun menjadi Rp 1,46 Miliar/tahun.

Penghematan $\pm$ Rp 883 Juta/tahun.

Payback Period $\pm$ 2,26 tahun.

Solusi jangka pendek, sesuai standar PLN, tanpa ubah konfigurasi.

Kesimpulan

Opsi 2 – Penambahan Feeder Baru

- Rugi daya SUTM turun 75,5% → voltage drop hanya $\pm 1,2\%$.
- Biaya rugi energi turun menjadi Rp 626 Juta/tahun.
- Penghematan $\pm$ Rp 1,71 Miliar/tahun.
- Payback Period $\pm$ 3,50 tahun.
- Solusi jangka panjang: efisiensi tinggi, keandalan meningkat (SAIFI, SAIDI), mendukung smart grid.

- Opsi 1 → cocok untuk solusi jangka pendek dengan anggaran terbatas.
- Opsi 2 → jangka panjang terbaik, efisiensi tinggi, kualitas tegangan stabil, keandalan distribusi meningkat

Referensi

- [1] D. Li, P. Xu, J. Gu, dan Y. Zhu, "A review of reliability research in regional integrated energy system: Indicator, modeling, and assessment methods," *Buildings*, vol. 14, no. 11, hal. 3428, 2024, [Daring]. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/buildings14113428>
- [2] D. A. Maulana, U. Latifa, T. Elektro, S. Karawang, J. H. Ronggo Waluyo, dan I. Karawang, "Analisa pembangunan gardu jenis cantol guna menunjang pasang baru daya 66 kVA di PT PLN (Persero)-Karawang Kota," 2025.
- [3] A. S. Pabla dan A. Hadi, *Sistem distribusi daya listrik*. Erlangga, 1994.
- [4] B. I. Putra, M. I. Arsyad, dan F. Fitriah, "Analisis rugi-rugi daya dan karakteristik penyulang pada jaringan distribusi 20 kV di Gardu Induk Sungai Raya," *COMSERVA J. Penelit. dan Pengabd. Masy.*, vol. 4, no. 7, hal. 2141–2152, 2024, [Daring]. Tersedia pada: <https://doi.org/10.59141/comserva.v4i7.2604>
- [5] A. Kadir, *Electric power distribution*. UI-Press, 2000.
- [6] P. Sugianto, SUTARA, "Studi susut energi pada sistem distribusi tenaga listrik melalui analisis pengukuran dan perhitungan," *SINUSOIDA*, vol. 21, no. 2, hal. 39–56, 2019, [Daring]. Tersedia pada: <https://doi.org/10.37277/s.v21i2.686>
- [7] P. P. (Persero), *SPLN No. 1:1995: Tegangan–tegangan standar*. Direktorat Distribusi, PT PLN (Persero), 1995.
- [8] I. M. A. Mahardiananta, P. A. R. Arimbawa, dan D. A. . Santiari, "Perhitungan drop tegangan sistem distribusi menggunakan metode aliran daya," *J. Resist.*, vol. 3, no. 1, hal. 13–18, 2020.
- [9] M. Irsyam, M. Algusri, L. P. Marpaung, K. Kunci, dan P. Lvmdp, "Analisa rugi-rugi daya (losses power) pada jaringan tegangan rendah PT. Musimmas Batam," *Sigma Tek.*, vol. 6, no. 1, hal. 109–119, 2023.
- [10] Suhadi, *Teknik distribusi tenaga listrik jilid 1*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
- [11] R. W. Pratiwi dan M. A. F. Haurissa, "Analisa rugi daya berbasis ETAP pada jaringan distribusi 20 kV penyulang Ahuru," *J. ELKO (Elektrikal dan Komputer)*, vol. 4, no. 1, 2023, [Daring]. Tersedia pada: <https://doi.org/10.54463/je.v4i1.84>
- [12] S. Nanzain dan T. Wrahatnolo, "Evaluasi keandalan sistem jaringan distribusi 20 kV menggunakan metode reliability network equivalent approach (RNEA) di PT. PLN Rayon Mojokerto," *J. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 2, hal. 111–119, 2017.
- [13] N. Agrawal, O. P. Thakur, dan A. K. Singh, "Analysis of electromechanical properties of electrode for enhancing electrostrictive capacitive sensor response," *Mater. Today Proc.*, vol. 47, no. 1621–1626, 2021, [Daring]. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.320>
- [14] A. Arismunandar dan S. Kuwahara, *Power (mechanics)*. Pradnya Paramita, 1979.
- [15] C.-W. Ten dan A. Mehrizi-Sani, *Electric power distribution engineering*. CRC Press, 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1201/9781003129721>
- [16] A. L. Febrianingrum dan S. Pramono, "SAIFI untuk evaluasi keandalan sistem distribusi tenaga listrik pada jaringan transmisi menengah 20 kV," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 21, no. 1, hal. 1, 2022, [Daring]. Tersedia pada: <https://doi.org/10.24843/MITE.2022.v21i01.P01>
- [17] Jamaaluddin, I. Robandi, dan I. Shory, "A very short-term load forecasting in time of peak loads using interval type-2 fuzzy inference system: A case study on java bali electrical system," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 14, no. 1, hal. 464–478, 2019.
- [18] & P. P. S. dan T. U. I. Kelompok Kerja Standar Konstruksi Distribusi Jaringan Tenaga Listrik, *Standar konstruksi jaringan tegangan menengah tenaga listrik (Edisi 1)*. PT PLN (Persero), 2010.

