

Analisa Uprating JTM 20 kV di Penyulang Tolandona Out Labunia untuk Perbaikan Tegangan Pelanggan PT. KPA dan Sekitarnya

Ario Suseno¹, Sandy Adyatma^{2*}, Arif Jaya³, Muhammad Nawir⁴, Muhammad Amin⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia

Email: ¹sandyadyatma7@gmail.com; ²ariosusenoabb@gmail.com; ³arief.jaya@umi.ac.id;

⁴muhammad.nawir@umi.ac.id; ⁵muh.amin@umi.ac.id

Received: 06 08 2025 | Revised: 14 08 2025 | Accepted: 26 08 2025 | Published: 30 09 2025

Abstrak

Keandalan suatu penyulang ditentukan oleh kemampuannya dalam menjaga tegangan tetap stabil. Menjaga kestabilan tegangan merupakan tanggung jawab utama PT PLN (Persero) terutama bagi pelanggan industri dengan daya besar. Salah satu daya besar di UP3 Baubau adalah PT Kartika Prima Abadi (PT KPA), sebuah perusahaan pengolahan aspal alam yang berlokasi di Kabupaten Buton, Sulawesi Tenggara. Jarak suplai yang cukup jauh dari pusat pembangkitan di PLTU Baruta, yakni sekitar ± 77 kilometer dengan total panjang penyulang mencapai ± 213 kilometer, menjadi salah satu faktor yang berpotensi menurunkan kualitas tegangan listrik yang diterima oleh perusahaan tersebut. Pada tanggal 9 November 2023 PT. KPA bersurat mengenai kendala produksi akibat tegangan terlalu rendah yang menyebabkan beberapa unit mesin tidak berfungsi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak uprating konduktor pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV Penyulang Tolandona Out Labunia dalam rangka meningkatkan kualitas tegangan dan efisiensi distribusi energi listrik. Metode yang digunakan meliputi analisis teknis melalui simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP serta perhitungan untuk mengevaluasi profil tegangan dan rugi daya sebelum dan sesudah uprating. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebelum dilakukan uprating, tegangan minimum di sisi pelanggan utama, PT Kartika Prima Abadi, hanya mencapai ± 18.670 Volt, berada di batas bawah toleransi PLN. Rugi daya yang terjadi sebesar $\pm 102,5$ kW mengindikasikan rendahnya efisiensi sistem. Setelah uprating dilakukan dengan mengganti konduktor dari 70 mm^2 menjadi 150 mm^2 , tegangan minimum meningkat menjadi ± 19.600 Volt dan rugi daya menurun menjadi $\pm 56,7$ kW. Temuan ini menunjukkan bahwa uprating konduktor mampu secara signifikan meningkatkan kestabilan tegangan dan menurunkan rugi daya dalam sistem distribusi.

Kata kunci: tegangan, uprating, drop tegangan, rugi daya, etap

1. Pendahuluan

Sistem distribusi memiliki fungsi krusial dalam menyediakan energi listrik langsung kepada pengguna. Di dalam sistem ini, ada elemen yang dikenal sebagai penyulang, yang merupakan jalur distribusi yang mengalirkan energi dari gardu induk menuju lokasi-lokasi konsumen. Kinerja penyulang sangat bergantung pada kemampuannya menjaga tegangan tetap dalam batasan standar yang telah ditentukan. Apabila tegangan yang diterima oleh konsumen berada di bawah standar, kinerja perangkat listrik dapat memburuk, bahkan bisa menyebabkan kerusakan.

Salah satu problem yang sering muncul pada jalur distribusi adalah penurunan tegangan, yang sering disebut sebagai drop tegangan. Drop tegangan mengacu pada jumlah tegangan yang hilang pada suatu konduktor. Penting untuk menganalisis drop tegangan agar dapat memahami besar kecilnya penurunan tegangan sepanjang saluran distribusi. Beberapa elemen yang berpengaruh terhadap nilai drop tegangan meliputi: Panjang konduktor, Impedansi konduktor, sambungan pada konduktor yang longgar yang menyebabkan pemanasan dan berdampak pada peralatan sistem distribusi, Nilai faktor daya/PF (Power Factor), serta besaran beban trafo [1].

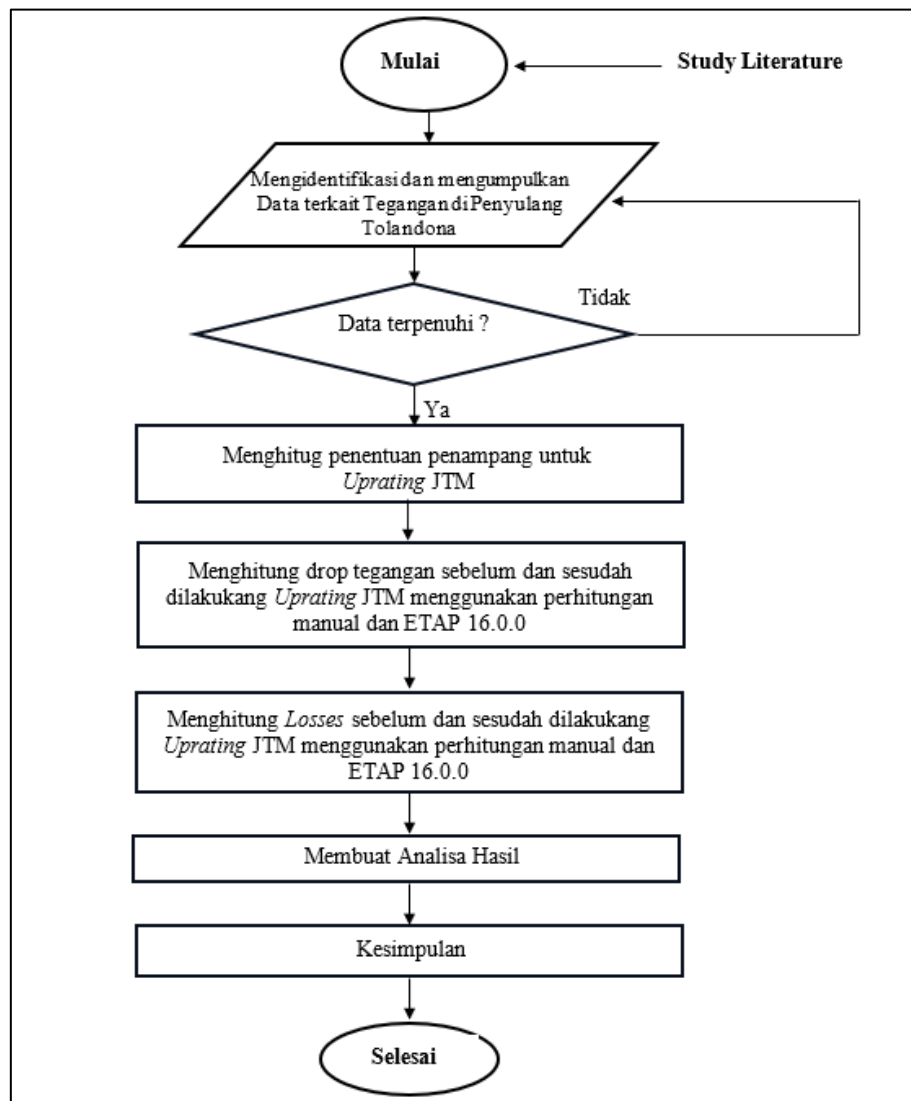
Penurunan tegangan atau drop tegangan adalah jumlah tegangan yang hilang pada konduktor dan dapat diukur dalam persentase atau volt. Nilai drop tegangan berhubungan langsung dengan panjang jalur dan beban, tetapi berbanding terbalik dengan luas konduktor. Dari hasil perhitungan yang membandingkan antara teori drop tegangan dan susut daya dengan simulasi ETAP 12.6.0, diperoleh hasil yang hampir sebanding. Analisis susut dan simulasi dari kawat A3C ke kabel A3CS menunjukkan pengurangan susut dan meningkatkan keuntungan bagi PLN [2].

Terlihat bahwa nilai susut daya konduktor berkaitan langsung dengan nilai resistansi konduktor itu sendiri. Semakin rendah nilai resistansi pada konduktor, semakin kecil pula nilai susut daya yang terjadi. Upaya memperbaiki susut selama ini hanya berfokus pada aspek non-teknis. Oleh karena itu, perlu dilakukan perbaikan energi teknis pada penyulang agar distribusi energi listrik ke pengguna dapat lebih efisien [3].

Susut teknis mengacu pada penurunan yang disebabkan oleh karakteristik konduktivitas dari material atau peralatan itu sendiri. Nilai susut ini sangat dipengaruhi oleh kualitas dan jenis bahan yang digunakan dalam material atau peralatan listrik yang memiliki elemen resistif atau reaktif. Faktor-faktor yang menyebabkan penurunan tegangan dan kehilangan daya pada jaringan distribusi 20 kV sangat dipengaruhi oleh jenis material, peralatan, serta konstruksi jaringan tersebut. Untuk mencapai performa yang diinginkan dari jaringan distribusi, penting agar jaringan memiliki kontinuitas dalam penyaluran daya listrik dan tingkat keandalan yang tinggi, serta meminimalkan rugi daya dan penurunan tegangan. Untuk memenuhi kriteria tersebut, beberapa faktor penyebab penurunan tegangan dan rugi daya pada jaringan distribusi perlu diperhatikan, termasuk tegangan sistem, frekuensi, faktor daya beban ($\cos \theta$), faktor beban, dan keandalan [4].

2. Metode

Dalam studi ini, penulis mengaplikasikan metode perhitungan secara manual dan juga menggunakan simulasi dengan perangkat lunak ETAP 16.0.0 yang didasarkan pada data teknis, termasuk ukuran penampang Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Single Line Diagram, informasi beban Penyulang, serta data tegangan di titik masuk dan di sisi primer PT. KPA. Penilaian terhadap penyebab penurunan tegangan dilakukan dengan memeriksa kondisi jaringan secara langsung, mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan penurunan tegangan dan kehilangan daya teknis. Membuat analisis rencana kerja untuk peningkatan kapasitas JTM dan melakukan simulasi dengan ETAP 16.0.0. Tahapan penelitian ini dapat divisualisasikan dalam bentuk diagram alir seperti berikut.

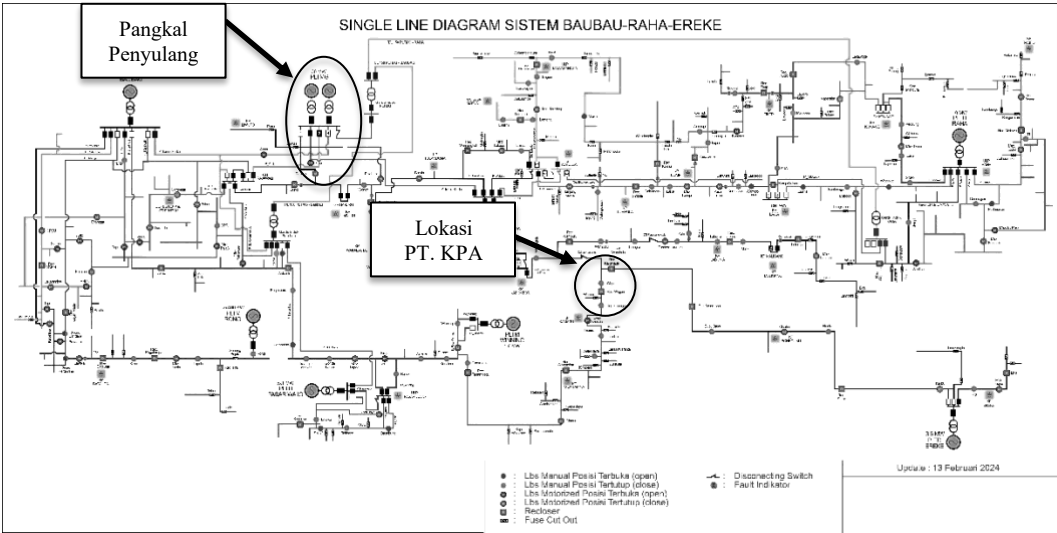


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Baubau merupakan bagian dari PT PLN (Persero) di bawah Unit Induk Distribusi (UID) Sulawesi Selatan, Tenggara, dan Barat, yang membawahi lima Unit Layanan Pelanggan (ULP), yaitu ULP Baubau Kota untuk wilayah Kota Kota Baubau, Kab. Buton Utara dan sebagian Kab. Buton Selatan, ULP Raha untuk wilayah Kab. Muna dan Kab. Muna Barat, ULP Mawasangka untuk wilayah Kab. Buton Tengah dan Sebagian Kab. Bombana, ULP Pasarwajo untuk wilayah Kab. Buton dan Sebagian Kab. Buton Selatan, dan ULP Wangi-wangi untuk wilayah Kabupaten Wakatobi. Penelitian ini difokuskan pada wilayah kerja ULP Baubau Kota dan ULP Pasarwajo, dengan studi kasus analisa Uprating JTM 20 kV di penyulang Tolandona Out Labunia untuk perbaikan tegangan pelanggan PT. KPA dan sekitarnya, yaitu PT. KPA merupakan pelanggan terbesar PT. PLN (Persero) UP3 Baubau yang bergerak di bidang Smelter Aspal murni dengan daya kontrak 3.465 kVA.

Untuk mempermudah analisis konfigurasi Penyulang Tolandona Out Labunia, Peta Jaringan dimodelkan dalam bentuk Diagram Satu Garis (*Single Line Diagram*). Pemodelan difokuskan pada penghantar utama (*mainline*) yang relevan dengan memperhatikan jarak antara pangkal penyulang dan pusat beban di PT. KPA.



Gambar 2. *Single Line Diagram*

Sistem kelistrikan pada Penyulang Tolandona Out Labunia merupakan elemen dari Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV yang memiliki karakteristik jalur transmisi yang panjang, konfigurasi jaringan yang bervariasi, serta konsumsi energi yang signifikan dari pelanggan. Penyulang ini berfungsi sebagai salah satu sumber utama bagi PT Kartika Prima Abadi (PT KPA), sebuah perusahaan pengolahan aspal alami yang terletak di Kabupaten Buton, di Sulawesi Tenggara. Jarak dari PT KPA hingga titik awal penyulang di PLTU Baruta cukup jauh, yaitu sekitar ± 77 km, dengan panjang total jaringan mencapai $\pm 213,05$ km.

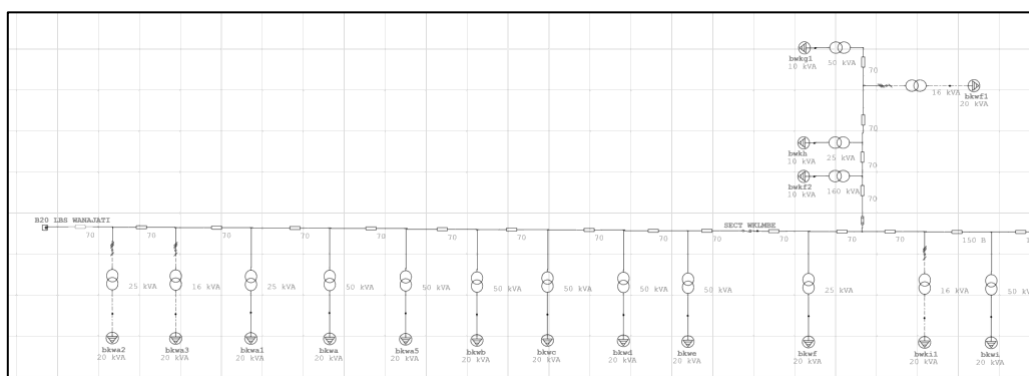
Berdasarkan pengumpulan informasi sebelum dilakukannya peningkatan kapasitas JTM 20kV yang diperlukan untuk penelitian ini, data tersebut disajikan dalam format tabel. Tabel di bawah ini menyajikan ringkasan data teknis dari sistem distribusi yang menjadi fokus dalam penelitian ini.

Tabel 1. Data Teknis Jaringan Penyulang Tolandona Out Labunia

Parameter Jaringan	Keterangan
Lokasi Penyalur	Penyulang Tolandona Out Labunia
Panjang Jaringan	$\pm 213,05$ kms
Pangkal Penyulang	PLTU Baruta
Pelanggan Utama	PT Kartika Prima Abadi (Smelter Aspal)
Daya Kontrak Pelanggan	3.465 kVA
Panjang Jaringan yang akan di Uprating	± 10 kms
Jenis Penghantar Sebelum	AAAC-S (<i>half insulated single core</i>)
Luas Penampang Sebelum	70 mm ²
Jenis Penghantar Sesudah	AAAC-S (<i>half insulated single core</i>)
Luas Penampang Sesudah	150 mm ²

Berdasarkan Tabel 4.1, sistem distribusi listrik pada Penyulang Tolandona Out Labunia memiliki panjang jaringan yang cukup signifikan, yaitu $\pm 213,05$ km, dengan pangkal penyulang berada di PLTU Baruta. Panjang jalur ini menghadirkan tantangan tersendiri bagi kestabilan tegangan, terutama saat memenuhi kebutuhan pelanggan industri yang meminta kualitas pasokan listrik yang terkendali. PT Kartika Prima Abadi (KPA) adalah pelanggan utama yang mengandalkan penyulang ini, dengan kontrak daya sebesar 3.465 kVA. Jarak pelanggan yang cukup jauh dari gardu induk membuat distribusi daya di jalur ini rentan terhadap penurunan tegangan.

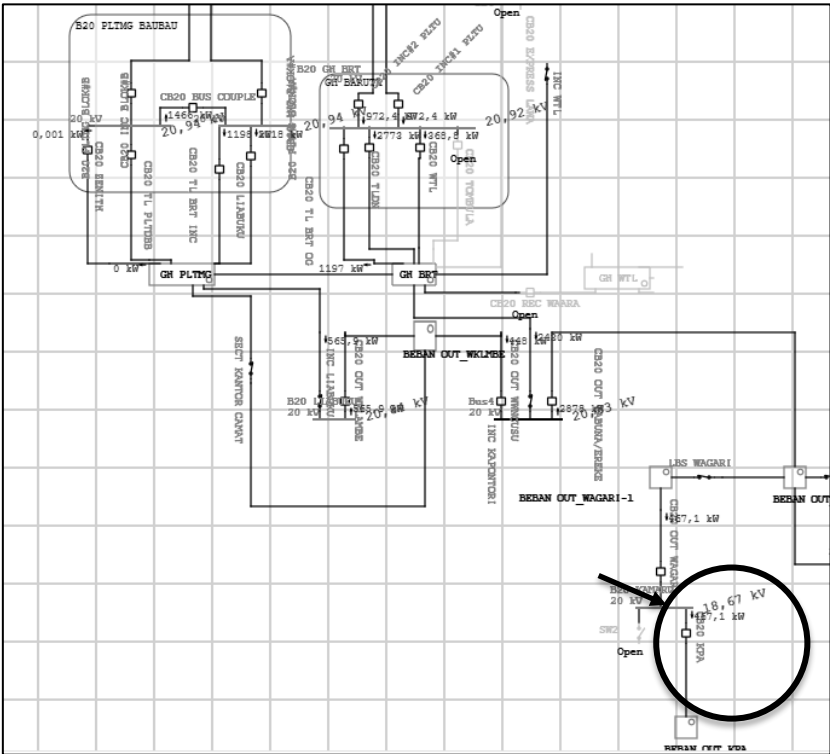
Sebelum dilakukan peningkatan kapasitas, konduktor yang digunakan dalam jaringan adalah jenis All Aluminium Alloy Conductor yang memiliki isolasi setengah (AAAC-S), dengan ukuran penampang 70 mm². Tipe konduktor ini cukup lazim digunakan dalam sistem distribusi di Indonesia karena bobotnya ringan dan efisien dalam pemasangan. Namun, untuk jalur yang panjang dan beban berat seperti Penyulang Tolandona, ukuran penampang tersebut dianggap tidak mencukupi, karena resistansi konduktor yang tinggi bisa mengakibatkan kerugian daya yang signifikan serta penurunan tegangan yang drastis di sisi pelanggan. Oleh karena itu, dibutuhkan langkah-langkah teknis untuk meningkatkan kinerja sistem distribusi.



Gambar 3. Kondisi penampang kabel sebelum dilakukan Uprating JTM

Solusi yang dipilih adalah melakukan peningkatan ukuran konduktor menjadi 150 mm² dengan menggunakan penghantar jenis AAAC-S (inti tunggal setengah terisolasi). Perubahan ini diterapkan pada segmen-segmen penting yang langsung mengarah ke lokasi beban utama, yaitu PT KPA serta area sekitarnya termasuk Out Labunia dan Ereke. Dengan peningkatan luas penampang konduktor, diharapkan resistansi dapat berkurang secara signifikan, sehingga tegangan dapat dijaga tetap stabil dan rugi daya menjadi lebih rendah. Proses perencanaan dan pelaksanaan peningkatan ini kemudian dianalisis melalui simulasi sistem dengan menggunakan perangkat lunak ETAP untuk mengevaluasi dampak teknisnya terhadap kinerja sistem distribusi.

Berikut simulasi menggunakan aplikasi ETAP 16.0.0 sebelum dilakukan uprating JTM 20 kV :



Gambar 4. Simulasi ETAP 16.0.0 sebelum dilakukan Uprating JTM

Tabel 1. Hasil Simulasi Sistem Jaringan Sebelum Uprating Penyulang Tolandona Out Labunia		
Parameter	Nilai Hasil Simulasi	Keterangan
Tegangan Nominal Jaringan	20.000 Volt (20 kV)	Tegangan operasi sistem JTM PLN
Tegangan Minimum di Ujung Beban	±18.670 Volt	Drop tegangan signifikan, di bawah standar toleransi PLN
Tegangan Maksimum di Jaringan	±19.950 Volt	Masih dalam batas toleransi PLN
Rugi Daya Total (Power Losses)	±102,5 kW	Efisiensi sistem rendah akibat konduktor berpenampang kecil
Persentase Rugi Daya terhadap Beban	±6,8%	Menunjukkan efisiensi sistem distribusi masih belum optimal
Jenis Penghantar yang Digunakan	AAAC-S (half insulated)	Penghantar berpenampang 70 mm ²
Luas Penampang Konduktor	70 mm ²	Tidak cukup untuk beban industri pada jarak distribusi jauh

Berdasarkan Tabel 2, sistem mengalami penurunan tegangan (voltage drop) yang cukup signifikan di sisi pelanggan. Tegangan terendah yang teramati berada di sekitar ±18.670 Volt, menunjukkan penurunan lebih dari 6,65% dari tegangan standar 20 kV. Penurunan ini sudah mendekati batas toleransi tegangan yang ditetapkan oleh PLN, yaitu ±10% dari tegangan standar. Keadaan ini sangat mengancam kestabilan operasi perangkat industri dan bisa mengakibatkan trip otomatis pada mesin atau bahkan kerusakan pada motor listrik jika kondisi ini berlanjut.

Selain masalah penurunan tegangan, sistem distribusi sebelum peningkatan kapasitas juga menunjukkan adanya tingkat kerugian daya yang signifikan. Hasil dari simulasi mengungkapkan bahwa kerugian daya total dalam jaringan mencapai sekitar $\pm 102,5$ kW. Besarnya rugi daya ini disebabkan oleh kombinasi antara panjangnya saluran dan kecilnya luas penampang konduktor, yang menyebabkan resistansi saluran cukup tinggi.

Untuk mendapatkan gambaran kuantitatif mengenai kondisi sistem distribusi Penyulang Tolandona sebelum dilakukan peningkatan kapasitas, telah dilakukan perhitungan manual terhadap nilai resistansi penghantar, penurunan tegangan, dan kerugian daya pada salah satu segmen jaringan yang memiliki panjang 10 km yang langsung mengarah ke pelanggan utama. Perhitungan tersebut mengikuti prinsip dasar teknik elektro pada sistem tiga fasa. Parameter Teknis

Perhitungan dilakukan menggunakan asumsi dan data teknis berikut:

Panjang penghantar $l = 10.000$ m

Luas penampang konduktor AAAC-S $A = 70 \text{ mm}^2 = 70 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

Resistivitas AAAC $\rho = 2,82 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

Arus beban rata-rata 100 A

Faktor daya (*lagging*) $\cos\theta = 0,9$

1. Menghitung resistansi penghantar

Menggunakan rumus dasar:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad (1)$$

$$R = 2,82 \times 10^{-8} \cdot \frac{10.000}{70 \times 10^{-6}}$$

$$R = 4,0286 \Omega$$

Hasil ini menunjukkan bahwa resistansi total konduktor sepanjang 10 km dengan penampang 70 mm^2 adalah sekitar 4,03 ohm.

2. Menghitung drop tegangan sistem 3 fasa

Drop tegangan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I \cdot R \cdot \cos\theta \quad (2)$$

$$\Delta V = 1,732 \cdot 100 \cdot 4,03 \cdot 0,9$$

$$\Delta V = 1,732 \cdot 100 \cdot 3,627$$

$$\Delta V = 628,3 \text{ volt}$$

Dengan demikian, pada segmen sepanjang 10 km, terjadi penurunan tegangan sebesar $\pm 628,3$ Volt. Jika dibandingkan dengan tegangan nominal sistem distribusi 20.000 Volt, maka:

$$\text{Persentase drop tegangan} = \frac{628,3}{20.000} \times 100\%$$

$$\text{Persentase drop tegangan} \approx 3,14\%$$

Nilai ini masih dalam batas toleransi tegangan yang diperbolehkan oleh PLN ($\pm 10\%$), namun pada lintasan yang lebih panjang seperti 213,05 km (panjang total Penyulang Tolandona), penurunan tegangan akan berlipat ganda dan sangat mungkin menembus batas bawah toleransi, terlebih pada kondisi beban puncak.

3. Menghitung rugi-rugi daya

Rugi daya dihitung menggunakan rumus:

$$P_{loss} = 3 \cdot I^2 \cdot R \quad (3)$$

$$P_{loss} = 3 \cdot 100^2 \cdot 4,03$$

$$P_{loss} = 3 \cdot 10.000 \cdot 4,03$$

$$P_{loss} = 120.900 \text{ W}$$

$$P_{loss} = 120,9 \text{ kW}$$

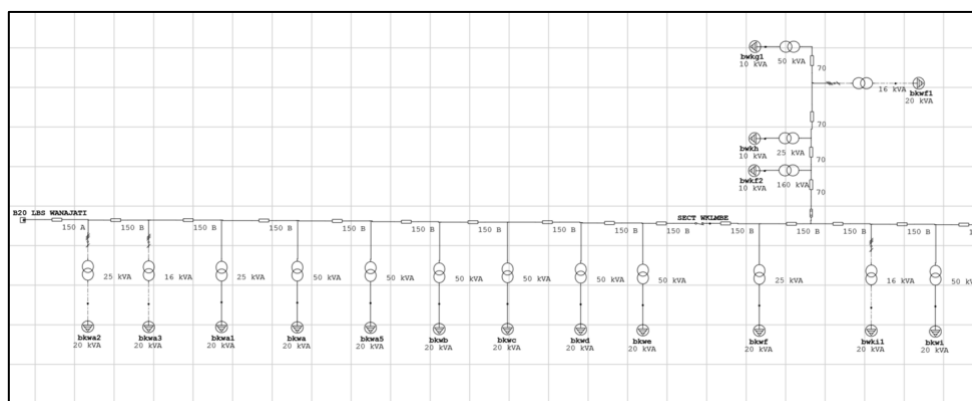
Artinya, dalam satu segmen 10 km saja, energi listrik sebesar $\pm 120,9$ kW hilang sebagai panas akibat resistansi penghantar. Jika diasumsikan distribusi beban dan karakteristik konduktor seragam sepanjang jaringan $\pm 213,05$ km, maka total rugi daya sangat mungkin melebihi 100 kW sebagaimana ditunjukkan dalam hasil simulasi ETAP.

4. Interpretasi Hasil

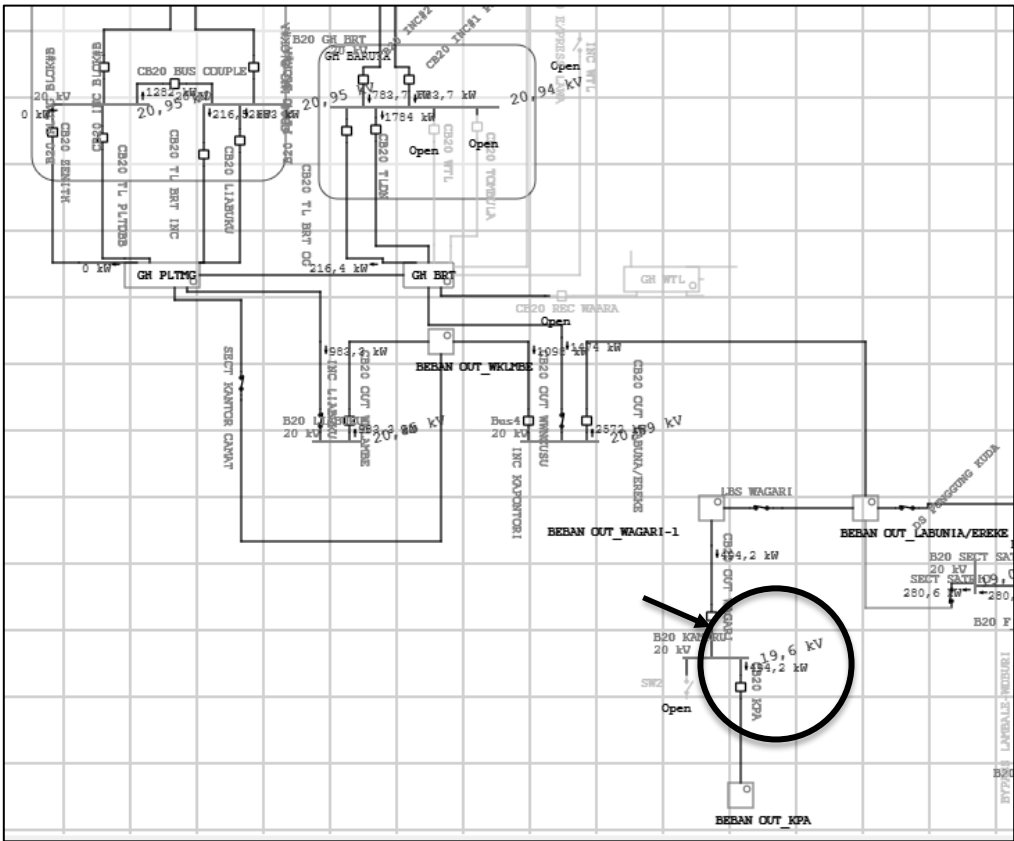
Dari hasil perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa:

- Drop tegangan sebesar ± 628 Volt pada segmen 10 km menunjukkan indikasi masalah tegangan jika diteruskan ke beban sejauh ± 213 km.
- Rugi daya sebesar $\pm 120,9$ kW menunjukkan rendahnya efisiensi sistem distribusi, karena energi yang semestinya sampai ke pelanggan sebagian besar terbuang dalam bentuk panas.

Sementara itu, setelah melakukan peningkatan kapasitas pada jaringan Penyulang Tolandona Out Labunia dengan mengganti konduktor yang awalnya berukuran 70 mm² menjadi 150 mm², serta menggunakan jenis konduktor AAAC-S (single core setengah isolasi). Langkah ini difokuskan pada bagian-bagian penting yang secara langsung menyuplai beban utama seperti PT Kartika Prima Abadi dan beberapa gardu distribusi di daerah sekitar Out Labunia dan Ereke. Simulasi juga dilakukan kembali dengan menggunakan perangkat lunak ETAP untuk menilai perubahan kinerja sistem distribusi listrik., diperoleh hasil simulasi sebagai berikut :



Gambar 5. Kondisi penampang kabel sesudah dilakukan Upgrading JTM



Gambar 6. Simulasi ETAP 16.0.0 sesudah dilakukan Uprating JTM

Tabel 3. Hasil Simulasi Sistem Jaringan Sesudah Uprating Penyulang Tolandona Out Labunia

Parameter	Nilai Hasil Simulasi	Keterangan
Tegangan Jaringan	Nominal 20.000 Volt (20 kV)	Tegangan standar Jaringan Tegangan Menengah
Tegangan Minimum di Ujung Beban	±19.600 Volt	Meningkat, berada dalam toleransi PLN (±10%)
Tegangan Maksimum di Jaringan	±20.950 Volt	Masih dalam kisaran normal operasional
Rugi Daya Total (<i>Power Losses</i>)	±56,7 kW	Turun hampir 50% dari kondisi sebelum uprating
Persentase Rugi Daya terhadap Beban	±3,5%	Menunjukkan peningkatan efisiensi sistem distribusi
Jenis Penghantar yang Digunakan	AAAC-S (<i>half insulated single core</i>)	Lebih aman dan andal untuk beban industri besar
Luas Penampang Konduktor	150 mm ²	Mengurangi resistansi penghantar secara signifikan
Lokasi Evaluasi	Segmen menuju PT KPA dan Ereke	Titik kritis sistem distribusi di ujung penyulang

Hasil simulasi setelah uprating menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas penghantar memberikan pengaruh yang positif terhadap stabilitas tegangan dan kinerja sistem. Langkah ini menjadi solusi teknis yang lebih efektif dibanding opsi lain seperti instalasi gardu baru atau pembagian beban penyulang. Dengan melihat hasil analisis ini, pelaksanaan uprating bisa dijadikan contoh kebijakan teknis untuk penyulang-penyulang lainnya yang mengalami isu serupa di area kerja PT PLN (Persero) UP3 Baubau.

Sebagai tambahan untuk hasil simulasi ETAP, dilakukan juga perhitungan manual guna menilai dampak teknis dari uprating konduktor pada bagian penting penyulang. Perhitungan ini bertujuan mengukur secara teori sejauh mana penurunan tegangan (voltage drop) dan kerugian daya (losses) terjadi setelah mengganti konduktor dengan ukuran penampang yang lebih besar, yaitu 150 mm^2 . Data ini berperan sebagai bukti kuantitatif tambahan yang mendukung keberhasilan uprating dalam memperbaiki efisiensi dan keandalan sistem distribusi.

1. Parameter Teknis

Perhitungan dilakukan menggunakan asumsi dan data teknis berikut:

Panjang penghantar $l = 10.000 \text{ m}$

Luas penampang konduktor AAAC-S $A = 150 \text{ mm}^2 = 150 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

Resistivitas AAAC $\rho = 2,82 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

Arus beban rata-rata 100 A

Faktor daya (*lagging*) $\cos\theta = 0,9$

2. Menghitung resistansi penghantar

Menggunakan rumus dasar:

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

$$R = 2,82 \times 10^{-8} \cdot \frac{10.000}{150 \times 10^{-6}}$$

$$R = 1,88 \Omega$$

Dengan uprating konduktor dari 70 mm^2 menjadi 150 mm^2 , resistansi berkurang lebih dari 50%, dari sebelumnya 4.03Ω menjadi hanya 1.88Ω pada panjang segmen yang sama.

3. Menghitung drop tegangan sistem 3 fasa

Drop tegangan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I \cdot R \cdot \cos\theta \quad (5)$$

$$\Delta V = 1,732 \cdot 100 \cdot 1,88 \cdot 0,9$$

$$\Delta V = 1,732 \cdot 100 \cdot 1,692$$

$$\Delta V = 293 \text{ volt}$$

Dengan hasil ini, drop tegangan pada segmen 10 km menurun menjadi hanya ± 293 Volt atau:

$$\text{Persentase drop tegangan} = \frac{293}{20.000} \times 100\%$$

$$\text{Persentase drop tegangan} \approx 1,47\%$$

Angka ini jauh lebih rendah dari kondisi sebelum uprating yang mencapai $\pm 3.14\%$, menunjukkan peningkatan signifikan dalam kualitas tegangan.

4. Menghitung rugi-rugi daya

Rugi daya dihitung menggunakan rumus:

$$P_{\text{loss}} = 3 \cdot I^2 \cdot R \quad (6)$$

$$P_{\text{loss}} = 3 \cdot 100^2 \cdot 1,88$$

$$P_{loss} = 3 \cdot 10.000 \cdot 1,88$$

$$P_{loss} = 56,4 \text{ kW}$$

Jika dibandingkan dengan rugi daya sebelum uprating sebesar 120.9 kW, maka terjadi pengurangan rugi daya sebesar 64.5 kW ($\pm 53,3\%$).

5. Interpretasi Hasil

Perhitungan manual menunjukkan bahwa setelah uprating:

- Drop tegangan turun dari ± 628 V menjadi ± 293 V (turun $\pm 53,3\%$),
- Rugi daya berkurang dari ± 120.9 kW menjadi ± 56.4 kW (turun $\pm 53,3\%$).

Tabel berikut merangkum hasil perbandingan simulasi antara sebelum dan sesudah uprating:

Parameter	Sebelum Uprating	Sesudah Uprating	Perubahan
Tegangan Minimum di Ujung Beban	± 18.670 Volt	± 19.600 Volt	Meningkat ± 930 Volt
Rugi Daya Total (<i>Power Losses</i>)	$\pm 102,5$ kW	$\pm 56,7$ kW	Menurun $\pm 45,8$ kW
Persentase Rugi Daya terhadap Beban	$\pm 6,8\%$	$\pm 3,5\%$	Lebih efisien sebesar $\pm 3,3\%$
Luas Penampang Konduktor	70 mm ²	150 mm ²	Naik ± 80 mm ²
Jenis Penghantar	AAAC-S (<i>half insulated single core</i>)	AAAC-S (<i>half insulated single core</i>)	Lebih andal dan aman

Berdasarkan Tabel 4.4, dapat dilihat bahwa terdapat peningkatan signifikan pada performa sistem distribusi setelah dilakukan pekerjaan uprating konduktor dari luas penampang 70 mm² menjadi 150 mm². Salah satu tanda yang paling jelas adalah peningkatan tegangan minimum dari yang sebelumnya sekitar ± 18.670 Volt menjadi ± 19.600 Volt. Kenaikan ini menunjukkan bahwa tegangan yang diterima oleh pelanggan kini lebih terjaga dan sesuai dengan batas toleransi standar yang ditetapkan PLN, yaitu sekitar $\pm 10\%$ dari tegangan nominal sebesar 20 kV. Tegangan yang stabil sangat krusial untuk keselarasan operasional industri seperti PT Kartika Prima Abadi, yang bergantung pada peralatan bertenaga tinggi dan sensitif terhadap variasi tegangan.

Di samping perbaikan pada kualitas tegangan, terdapat pula penurunan rugi daya yang cukup signifikan. Sebelum dilakukan uprating, rugi daya tercatat pada angka $\pm 102,5$ kW atau sekitar 6,8% dari keseluruhan daya sistem. Pasca uprating, level rugi daya menurun menjadi $\pm 56,7$ kW atau sekitar 3,5%. Penurunan hampir 50% ini mencerminkan peningkatan efisiensi energi dalam sistem distribusi. Efisiensi yang lebih baik ini akan berkontribusi langsung pada penghematan energi, pengurangan biaya operasional untuk PLN, dan peningkatan keandalan pasokan listrik di area tersebut.

Dari sudut pandang teknis, perubahan ukuran penampang konduktor dari 70 mm² menjadi 150 mm² memiliki dampak yang signifikan terhadap pengurangan resistansi penghantar. Selain itu, penerapan penghantar berisolasi juga membawa keuntungan

tambahan dalam hal keamanan dan keandalan distribusi. Dengan cara ini, proses uprating tidak hanya menjawab tantangan penurunan tegangan, tetapi juga berfungsi sebagai strategi jangka panjang untuk memperbaiki efisiensi dan stabilitas sistem distribusi tegangan menengah, khususnya di lokasi-lokasi dengan tingkat beban industri yang tinggi dan jaringan penyulang yang panjang.

4. Kesimpulan dan Saran

Penerapan uprating dengan mengganti konduktor dari ukuran 70 mm² ke 150 mm² terbukti menunjang peningkatan kualitas distribusi. Tegangan yang diterima oleh konsumen hanya mencapai ± 18.670 Volt, yang berada di batas bawah toleransi $\pm 10\%$ dari 20 kV. Setelah uprating JTM dilakukan, tegangan yang diterima oleh pelanggan meningkat menjadi ± 19.600 Volt, yang berada dalam ambang aman dan sesuai dengan standar pelayanan tegangan. Selain itu, tegangan menjadi lebih konsisten dan merata di seluruh titik distribusi, mengurangi risiko gangguan serta meningkatkan keandalan sistem.

Nilai rugi daya juga mengalami penurunan yang signifikan setelah pelaksanaan uprating. Rugi daya yang sebelumnya berada pada tingkat $\pm 102,5$ kW kini menyusut menjadi $\pm 56,7$ kW. Penurunan ini menandakan adanya efisiensi yang lebih baik dalam distribusi energi listrik serta pengurangan energi yang hilang selama proses penyaluran. Hal ini menguntungkan baik bagi penyedia (PLN) maupun bagi pelanggan.

Daftar Pustaka

- [1] M. A. Ansori and W. Handajadi, "ANALISA DROP TEGANGAN PADA SISTEM JARINGAN TEGANGAN MENENGAH PT. PLN (PERSERO) APJ YOGYAKARTA 20 KV MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 16.0," vol. 6, 2019.
- [2] A. S. Deeng, G. M. C. Mangindaan, and L. S. Patras, "STUDI KELAYAKAN OPERASI PERENCANAAN UPRATING SUTM PADA PENYULANG SK 2 & SK 4 DI GARDU INDUK KAWANGKOAN DENGAN METODE SIMULASI ETAP 12.6.0".
- [3] I. A. Fatmana, B. D. Sulo, and B. M. Basuki, "Studi Susut Energi pada Penyulang Sumberpucung Dengan Perbaikan Susut di Wilayah Pt. Pln (Persero) Rayon Sumberpucung," vol. 13, 2021.
- [4] A. M. Siregar, B. Badriana, H. M. Yusdartono, and A. Hasibuan, "Perbaikan Nilai Susut Teknis Jaringan Tegangan Menengah Pada Feeder K.H. 05 (Case Study PLN ULP Kruenggukuh)," *J. Energi Elektr.*, vol. 12, no. 1, p. 24, Apr. 2023, doi: 10.29103/jee.v12i1.11708.