E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Analisis Tekno-Ekonomi Uprating Jaringan Tegangan Menengah Akibat Interkoneksi Pembangkit Listrik Minihidro Warnasi-Warkapi Pada Sistem Manokwari

I Putu Duta Satya Prananda[1], I Wayan Sutama[2], I Wayan Sukadana[3], I Wayan Suriana[4]
[1]Universitas Pendidikan Nasional, dutasatyaprananda@gmail.com
[2]Universitas Pendidikan Nasional, wayansutama@undiknas.ac.id
[3]Universitas Pendidikan Nasional, sukadana@undiknas.ac.id
[4]Universitas Pendidikan Nasional, wayansuriana@undiknas.ac.id

Abstrak

PLTM Warnasi-Warkapi berkapasitas 2 × 2,30 MW direncanakan terinterkoneksi dengan Penyulang Seruni menuju GH Maruni pada sistem kelistrikan Manokwari. Integrasi ini meningkatkan arus jaringan hingga 156,2242 A pada penghantar eksisting AAAC 70 mm², sehingga berpotensi menyebabkan penurunan tegangan dan peningkatan susut teknis. Penelitian ini menganalisis dampak interkoneksi terhadap kualitas tegangan dan rugi-rugi daya, serta mengevaluasi kelayakan investasi uprating penghantar berdasarkan penghematan biaya energi, NPV, IRR, dan Payback Period. Hasil menunjukkan bahwa penghantar AAAC 70 mm² mengalami drop tegangan 16,68% dan rugi energi 3.860.084 kWh/tahun. Setelah uprating, AAAC 150 mm² menurunkan nilai tersebut menjadi 10,87% dan 1.982.920 kWh/tahun, sedangkan AAAC 240 mm² menghasilkan 8,41% dan 1.225.004 kWh/tahun. Meskipun kedua alternatif belum memenuhi batas drop tegangan 5% berdasarkan SPLN 72:1987 akibat dominasi reaktansi, AAAC 240 mm² menjadi pilihan paling ekonomis dengan penghematan Rp4.222.162.438 per tahun, NPV Rp41.690.640.946, IRR 72,28%, dan Payback Period 1 tahun 5 bulan. Dengan demikian, AAAC 240 mm² direkomendasikan sebagai alternatif uprating terbaik, disertai kebutuhan mitigasi tambahan untuk memenuhi standar kualitas tegangan PLN.

Kata Kunci: *Pembangkit listrik tenaga mini-hidro, uprating penghantar, drop tegangan, susut teknis, analisis tekno-ekonomi*

Abstract

The Warnasi-Warkapi small hydropower plant is planned to be interconnected with the Seruni Feeder to Maruni Switching Substation in the Manokwari power system. This integration increases the network current to 156.2242 A on the existing 70 mm² AAAC conductor, potentially causing voltage drops and higher technical losses. This study evaluates the impact of interconnection on voltage quality and power losses, as well as the investment feasibility of conductor uprating based on energy cost savings, NPV, IRR, and Payback Period. The results show that the existing 70 mm² AAAC conductor experiences voltage drop of 16.68% and annual energy losses of 3,860,084 kWh. Uprating to 150 mm² reduces these values to 10.87% and 1,982,920 kWh/year, while 240 mm² achieves 8.41% and 1,225,004 kWh/year. Although neither alternative meets the 5% voltage drop limit specified in SPLN 72:1987 due to reactance dominance, the 240 mm² AAAC conductor is the most economical option, generating annual savings of IDR 4.222.162.438, an NPV of IDR 41.690.640.946, an IRR of 72.28%, and a payback period of 1 year and 5 months. Therefore, the 240 mm² AAAC conductor is recommended as the optimal uprating alternative, supported by additional mitigation measures to meet PLN voltage quality standards.

Keywords: *mini hydro power plant, conductor uprating, voltage drop, technical losses, techno-economic analysis*

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Corresponding Author:
I Putu Duta Satya Prananda

Universitas Pendidikan Nasional, dutasatyaprananda@gmail.com

PENDAHULUAN

Ketersediaan energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama masyarakat, yang berperan dalam menunjang aktivitas sosial, ekonomi, dan pembangunan suatu wilayah. Namun, hingga saat ini pemerataan akses listrik di Indonesia masih menghadapi berbagai kendala, terutama pada wilayah pedesaan dan daerah terpencil yang belum sepenuhnya terjangkau jaringan kelistrikan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pencapaian rasio elektrifikasi masih memerlukan upaya optimalisasi (Latif et al., 2025). Rasio elektrifikasi merupakan indikator yang menggambarkan perbandingan antara jumlah rumah tangga yang telah memperoleh akses listrik dengan total keseluruhan rumah tangga. Tantangan pemerataan elektrifikasi semakin kompleks akibat kondisi geografis Indonesia yang terdiri atas wilayah pegunungan, kepulauan, dan perairan, sehingga banyak permukiman berada dalam kondisi terisolasi dengan persebaran pelanggan yang tidak merata (PT. PLN (Persero), 2025).

Dalam rangka mendukung percepatan transisi energi dan pencapaian target Net Zero Emission (NZE), PT PLN (Persero) telah mengintegrasikan program Accelerated Renewable Energy Development (ARED) ke dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2025–2034. Program tersebut diarahkan untuk meningkatkan pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT), salah satunya melalui pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) dengan skema Distributed Generation (DG) yang terintegrasi pada sistem kelistrikan daerah. Langkah ini relevan dengan potensi energi air Indonesia yang mencapai 75.091 MW, sementara tingkat pemanfaatannya masih berada pada kisaran 7,2% (Taufiqurrahman & Windarta, 2020) . Pengembangan pembangkit berbasis potensi energi lokal diharapkan dapat menjadi salah satu solusi dalam memperluas akses listrik, khususnya bagi wilayah pedesaan yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik konvensional (Hadi et al., 2025) . Salah satu implementasi rencana tersebut adalah pembangunan PLTM Warnasi-Warkapi berkapasitas 2 × 2,30 MW atau total 4,6 MW di Desa Ningdip, Distrik Tanah Rubuh. Energi listrik yang dihasilkan direncanakan disalurkan menuju Gardu Hubung (GH) 20 kV Maruni melalui Penyulang Seruni. Namun, integrasi pembangkit dengan jaringan distribusi eksisting perlu mempertimbangkan kemampuan hantar arus infrastruktur yang tersedia, khususnya penghantar konduktor. Penyulang Seruni memiliki panjang jaringan sekitar 25 km dengan menggunakan konduktor AAAC berpenampang 70 mm². Berdasarkan perhitungan teknis pada tegangan nominal 20 kV dan faktor daya 0,85, injeksi daya sebesar 4,6 MW dari PLTM tersebut diperkirakan menghasilkan arus maksimum sebesar 165 A pada jaringan (PT. PLN (Persero), 2020) .

Berdasarkan dokumen Detail Engineering Design (DED) PLTM Warnasi-Warkapi, kondisi penghantar AAAC 70 mm² yang digunakan pada jaringan sepanjang 25 km berpotensi menimbulkan kerugian teknis yang signifikan ketika menerima injeksi daya dari pembangkit. Besarnya arus yang mengalir melalui konduktor dengan luas penampang relatif kecil akan meningkatkan jatuh tegangan (voltage drop) sepanjang saluran. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penghantar tersebut menghasilkan jatuh tegangan sebesar 2.299 Volt atau setara dengan 11,50% dari tegangan nominal distribusi. Besaran tersebut telah melampaui batas toleransi variasi tegangan pelayanan yang

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

ditetapkan dalam SPLN No. 72 Tahun 1987, yaitu sebesar 5% dari tegangan nominal 20.000 Volt (PT. PLN (Persero), 1987) . Kondisi ini mengindikasikan perlunya peningkatan kapasitas jaringan agar kualitas tegangan tetap terjaga serta kerugian energi dapat diminimalkan. Salah satu alternatif penanganan yang dapat diterapkan adalah melakukan uprating penghantar dengan mengganti konduktor eksisting menggunakan luas penampang yang lebih besar. Berdasarkan evaluasi teknis dokumen DED, alternatif penghantar yang dapat dipertimbangkan antara lain AAAC 150 mm² dan AAAC 185 mm². Pemilihan alternatif tersebut perlu mempertimbangkan kemampuan teknis penghantar dalam mengurangi jatuh tegangan sekaligus meningkatkan efisiensi penyaluran energi listrik (Karomi & Adhi Nugroho, 2026) .

Selain mempertimbangkan aspek teknis, pelaksanaan uprating jaringan distribusi juga perlu ditinjau berdasarkan aspek ekonomi karena membutuhkan biaya investasi yang cukup besar, terutama untuk penggantian penghantar sepanjang 25 km. Dalam sistem penyediaan tenaga listrik, biaya energi yang ditanggung PLN terbentuk dari berbagai komponen biaya, termasuk pembelian tenaga listrik berdasarkan perjanjian jual beli tenaga listrik (Power Purchase Agreement), sewa Aset Hak Guna (AHG), sewa non-AHG, serta biaya sewa pembangkit dan nonpembangkit dengan anak perusahaan (Kementerian Keuangan Republik Indonesia, 2025) . Dengan demikian, energi listrik yang hilang akibat susut jaringan (losses) tidak hanya berdampak pada penurunan efisiensi teknis, tetapi juga menimbulkan konsekuensi finansial karena energi tersebut tidak dapat disalurkan dan dijual kepada pelanggan. Besarnya kerugian ekonomi akibat susut energi dapat diestimasi menggunakan Biaya Pokok Penyediaan (BPP) tenaga listrik PLN di Kabupaten Manokwari pada tahun 2020 sebagai dasar penilaian nilai ekonomi energi yang hilang (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2021) . Oleh sebab itu, investasi peningkatan kapasitas penghantar perlu dianalisis secara menyeluruh dengan memperhitungkan potensi penghematan biaya akibat penurunan susut energi dibandingkan dengan besarnya biaya investasi yang diperlukan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kelayakan investasi uprating penghantar pada Penyulang Seruni yang terintegrasi dengan PLTM Warnasi-Warkapi melalui pendekatan tekno-ekonomi. Analisis dilakukan dengan membandingkan beberapa alternatif penggantian penghantar, yaitu AAAC 150 mm² dan AAAC 240 mm², berdasarkan kemampuan masing-masing dalam memperbaiki profil tegangan dan mengurangi susut energi (Abdullah & Badaruddin, 2020). Selanjutnya, penghematan finansial tahunan yang diperoleh dari energi yang berhasil diselamatkan akan dibandingkan dengan total biaya investasi yang dibutuhkan untuk setiap alternatif. Penilaian kelayakan investasi dilakukan menggunakan parameter Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), dan Payback Period (Azizah et al., 2025). Melalui pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat menentukan alternatif uprating penghantar yang paling optimal dengan mempertimbangkan keseimbangan antara peningkatan kinerja teknis jaringan distribusi, efisiensi penyaluran energi, dan kelayakan finansial investasi.

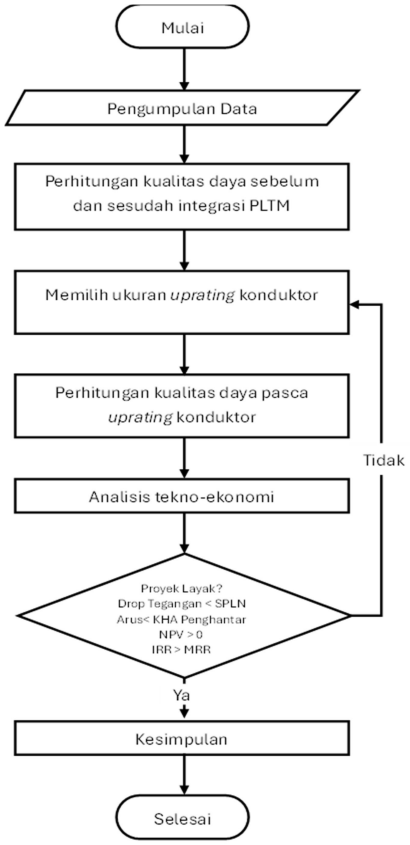
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada wilayah kerja PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Manokwari, Provinsi Papua Barat. Objek penelitian merupakan rencana peningkatan kapasitas penghantar (uprating) Penyulang Seruni yang berlokasi di Kabupaten Manokwari, tepatnya pada wilayah perbatasan dengan Kabupaten Manokwari Selatan. Penelitian ini menggunakan data kuantitatif sekunder yang bersumber dari dokumentasi resmi PT PLN (Persero), dokumen teknis, buku, jurnal ilmiah, standar ketenagalistrikan, serta instansi terkait (Sugiyono, 2019). Data utama

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

yang digunakan meliputi dokumen Detail Engineering Design (DED) pembangunan PLTM Warnasi-Warkapi tahun 2020, standar kuat hantar arus (KHA) dan spesifikasi impedansi penghantar AAAC berdasarkan SPLN, serta Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan uprating jaringan tegangan menengah di wilayah kerja UP3 Manokwari. Adapun parameter penelitian mencakup spesifikasi teknis pembangkit dan Penyulang Seruni, karakteristik serta harga penghantar alternatif, biaya investasi pekerjaan, Biaya Pokok Penyediaan (BPP) listrik Kabupaten Manokwari, dan tingkat suku bunga acuan PLN.

Pelaksanaan penelitian diawali dengan pengumpulan dan identifikasi data teknis jaringan Penyulang Seruni, spesifikasi PLTM Warnasi-Warkapi, serta komponen biaya investasi uprating penghantar. Selanjutnya, dilakukan analisis kondisi sistem sebelum dan sesudah integrasi pembangkit, meliputi perhitungan arus, jatuh tegangan (voltage drop), dan susut energi teknis. Hasil analisis tersebut menjadi dasar untuk melakukan simulasi peningkatan kapasitas penghantar menggunakan beberapa alternatif luas penampang konduktor (Laia, 2018). Setiap alternatif kemudian dievaluasi berdasarkan penurunan rugi-rugi energi dan nilai penghematan finansial tahunan yang diperoleh, sebelum dilakukan analisis kelayakan investasi menggunakan parameter Net Present Value (NPV) yang positif, Internal Return Rate (IRR) yang lebih besar dari Minimum Attractive Rate of Return (MRR), dan durasi Payback Period yang secepat mungkin (Widyastuti et al., 2026) . Tahap akhir penelitian berupa analisis tekno-ekonomi secara komprehensif untuk menentukan alternatif penghantar yang paling optimal, dengan mempertimbangkan keandalan teknis jaringan, efisiensi penyaluran energi, serta kelayakan dan manfaat ekonomi jangka panjang bagi perusahaan. Adapun visualisasi tahapan penelitian dapat dilihat melalui flowchart berikut:



Gambar 1. Flowchart Penelitian

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Analisis Data Teknis

1. Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan (voltage drop) merupakan selisih antara tegangan yang dikirimkan dari sumber atau gardu distribusi dengan tegangan yang diterima pada sisi beban. Besarnya jatuh tegangan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu arus beban, impedansi penghantar, luas penampang, dan panjang saluran (Malik et al., 2025) . Peningkatan arus beban dan impedansi penghantar yang tinggi meningkatkan jatuh tegangan, sedangkan luas penampang yang lebih besar dapat menurunkan resistansi. Selain itu, semakin panjang saluran distribusi, semakin besar jatuh tegangan sehingga tegangan yang diterima pelanggan semakin rendah. Apabila jatuh tegangan melampaui batas yang diizinkan, kualitas tegangan pada sisi pelanggan dapat terganggu dan berpotensi menyebabkan peralatan listrik tidak beroperasi secara optimal (Sinaga et al., 2021) . Berdasarkan SPLN No. 72 Tahun 1987, nilai jatuh tegangan pada jaringan tegangan menengah dibatasi maksimal sebesar 5% dari tegangan nominal. Nilai jatuh tegangan dapat diketahui dari persamaan (1) :

$$\%Vd = \frac{Vs\ -\ Vr}{Vs} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan (Vd) merupakan jatuh tegangan, (Vs) adalah tegangan yang dikirimkan dari sumber dan (Vr) merupakan tegangan yang diterima pada sisi beban. Adapun jatuh tegangan pada sistem tiga fasa, dapat dihitung dengan persamaan (2) dan persentase jatuh tegangan pada persamaan (3). Dengan (Vn) tegangan nominal, (R) resistansi, (X) reaktansi, (L) panjang penghantar, (I) arus rata-rata dan ($Sin\ \varphi$) merupakan sinus sudut faktor daya:

$$Vd_{L-L} = \sqrt{3} \times I \times L \times (R\ Cos\ \varphi + X\ Sin\ \varphi) \quad (2)$$

$$\%Vd = \frac{Vd}{Vn} \times 100\% \quad (3)$$

2. Susut Energi

Susut energi merupakan jumlah energi listrik yang telah diproduksi dan disalurkan oleh PLN, tetapi tidak dapat ditagihkan secara keseluruhan kepada pelanggan sehingga menimbulkan kerugian finansial bagi perusahaan. Berdasarkan penyebabnya, susut energi dibedakan menjadi dua kategori, yaitu susut teknis dan susut nonteknis . Susut teknis terjadi selama proses penyaluran energi listrik, terutama perubahan energi listrik menjadi panas pada penghantar akibat adanya resistansi. Besarnya susut teknis pada jaringan dipengaruhi oleh kuadrat arus dan resistansi penghantar, sehingga nilainya dapat ditekan melalui penggunaan material penghantar yang sesuai dan optimalisasi konfigurasi jaringan (Anthony et al., 2020). Sementara itu, susut nonteknis merupakan kehilangan energi yang disebabkan oleh faktor di luar karakteristik fisik jaringan, seperti pencurian listrik, kerusakan meter, dan kesalahan administrasi. Pengendaliannya dapat dilakukan melalui audit energi, pemeriksaan meter secara berkala, serta penertiban penggunaan tenaga listrik (Surusa et al., 2024) . Nilai susut teknis pada jaringan tegangan menengah dapat dihitung dengan rumus berikut (4).

$$P_{Loss} = 3 \times I^2 \times R \quad (4)$$

Rugi energi merupakan akumulasi energi yang hilang selama periode waktu tertentu akibat adanya rugi daya pada sistem kelistrikan. Nilai rugi energi tersebut dapat digunakan untuk memperkirakan potensi kerugian finansial dengan mengalikannya terhadap biaya produksi listrik per kWh. Dengan demikian, semakin besar susut energi yang terjadi pada jaringan distribusi, semakin besar pula potensi kerugian ekonomi yang

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

ditanggung oleh PLN (Rahmadani & Fernandes, 2025) . Kerugian energi adalah total daya hilang dalam satu waktu tertentu, sebagaimana persamaan (5).

$$E_{Loss} = P_{Loss} \times t \quad (5)$$

Analisis Kelayakan Finansial

1. Cashflow Proyek

Cash flow merupakan aliran uang masuk dan keluar selama periode tertentu dalam umur suatu proyek (Blank & Tarquin, 2012) . Arus kas masuk (cash inflow) meliputi pendapatan penjualan listrik, penghematan BBM, dan penjualan aset, sedangkan arus kas keluar (cash outflow) mencakup biaya investasi, operasional, dan pajak. Selisih kedua komponen tersebut menunjukkan nilai arus kas bersih, di mana nilai positif menandakan keuntungan dan nilai negatif menunjukkan kerugian. Perhitungan *cash flow* dapat dirumuskan sebagai berikut (6). (Suandi & Chayati, 2018)

$$CF = CF_{in} - CF_{out} \quad (6)$$

2. Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) merupakan metode analisis kelayakan investasi yang digunakan untuk mengetahui nilai tambah ekonomi suatu proyek dengan menghitung selisih antara nilai sekarang (present value) dari seluruh arus kas selama umur proyek dan investasi awal. Perhitungan NPV pada persamaan (7) mempertimbangkan nilai waktu uang (time value of money) melalui tingkat diskonto (discount rate), yang umumnya ditentukan berdasarkan Minimum Attractive Rate of Return (MARR) atau Weighted Average Cost of Capital (WACC). Suatu proyek dinyatakan layak secara finansial apabila NPV > 0, tidak memberikan keuntungan tambahan apabila NPV = 0, dan dinyatakan tidak layak apabila NPV < 0 (Trivania et al., 2025).

$$NPV = -I_0 + \sum_{t=1}^{t} \frac{CF_t}{(1+i)^t} \quad (7)$$

3. Internal Rate of Return (IRR)

Internal Rate of Return (IRR) merupakan tingkat pengembalian investasi yang menyebabkan nilai sekarang dari seluruh arus kas proyek sama dengan nilai investasi awal, sehingga menghasilkan NPV sebesar nol (Franscolina & Gunasti, 2026) . Parameter ini digunakan untuk mengukur tingkat keuntungan internal suatu proyek dan menentukan kemampuan investasi dalam menghasilkan pengembalian. Semakin tinggi nilai IRR, semakin besar potensi tingkat pengembalian proyek. Investasi dinyatakan layak apabila nilai IRR lebih besar daripada tingkat pengembalian minimum yang disyaratkan (MARR).

$$IRR = 0 = -I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+i)^t} \quad (8)$$

4. Payback Period

Payback Period merupakan metode analisis investasi yang digunakan untuk mengetahui jangka waktu yang diperlukan agar investasi awal dapat kembali melalui arus kas bersih tahunan atau cash flow (Brigham & Houston, 2015). Semakin singkat nilai payback period, semakin cepat modal investasi dapat dipulihkan. Pada investasi dengan arus kas tahunan yang sama, periode pengembalian dihitung dengan membagi nilai investasi awal dengan arus kas tahunan, sehingga hasilnya dinyatakan dalam satuan tahun. Perhitungan payback period dapat ditentukan melalui persamaan (9), dengan (Io) merupakan nilai investasi awal atau cash flow pada tahun ke-0 (Rp), dan (CF) adalah arus kas tahunan.

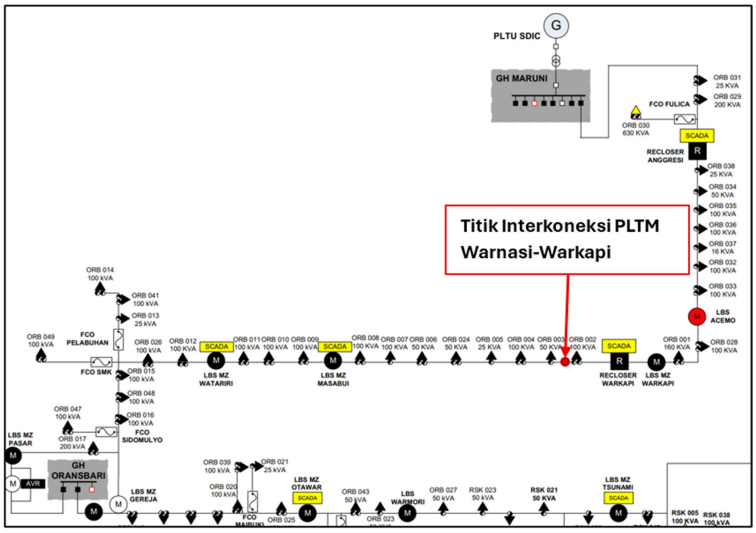
$$Payback\ Period = \frac{I_0}{CF} \quad (9)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Analisis Kualitas Daya Penyulang Seruni dalam Rencana Interkoneksi PLTM Warnasi-Warkapi

Integrasi PLTM Warnasi-Warkapi ke sistem kelistrikan Manokwari akan menambah aliran arus pada Penyulang Seruni yang menghubungkan GH Maruni dan GH Oransbari sepanjang 24,901 km yang ditunjukkan pada Gambar 2. Analisis teknis dilakukan dengan asumsi beban penuh sepanjang saluran dan durasi operasi pembangkit sesuai proyeksi.



Gambar 2. Line Diagram Lokasi Interkoneksi PLTM Warnasi-Warkapi

PLTM Warnasi-Warkapi direncanakan terinterkoneksi dengan Penyulang Seruni pada segmen antara gardu distribusi ORB 003 dan ORB 002. Pada kondisi awal, aliran daya berasal dari GH Maruni menuju GH Oransbari melalui jaringan sepanjang 24,901 km dengan total kapasitas trafo distribusi sebesar 3.750 kVA. Berdasarkan tegangan nominal 20 kV, arus maksimum pada sisi hulu penyulang mencapai 108,2532 A dan berangsur menurun menuju titik interkoneksi. Analisis menggunakan penghantar eksisting AAAC 70 mm² dengan resistansi 0,438 Ω/km, reaktansi 0,3434 Ω/km, serta kapasitas hantar arus sebesar 155 A.

Hasil perhitungan menunjukkan total jatuh tegangan sepanjang penyulang sebesar 1.700,783 V atau 8,5039% dari tegangan nominal 20 kV. Nilai tersebut telah melampaui batas maksimum yang diizinkan PLN, yaitu 5%, meskipun arus yang mengalir masih berada di bawah kapasitas hantar penghantar. Selain itu, susut teknis jaringan mencapai 170,4533 kW. Dengan faktor kapasitas PLTM Warnasi-Warkapi sebesar 68,47%, durasi operasi pembangkit diperkirakan mencapai 5.997,972 jam per tahun, sehingga total rugi energi pada kondisi awal sebesar 1.022.373,9021 kWh per tahun.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa Penyulang Seruni memerlukan perbaikan kualitas daya, terutama untuk menurunkan jatuh tegangan dan susut energi sebelum integrasi PLTM Warnasi-Warkapi. Penambahan pembangkit memang dapat memperpendek jarak penyaluran daya dari sumber menuju beban, tetapi juga berpotensi meningkatkan arus pada jaringan eksisting. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi teknis terhadap kemampuan penghantar dan penerapan peningkatan ukuran penampang (uprating) agar jaringan mampu menyalurkan daya secara lebih efisien serta memenuhi standar operasi yang ditetapkan.

Analisis Teknis Penyulang Seruni Pasca Interkoneksi PLTM Warnasi-Warkapi

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Interkoneksi PLTM Warnasi-Warkapi berkapasitas 2 × 2,30 MW pada Penyulang Seruni telah direncanakan sejak tahun 2020 melalui dokumen Detail Engineering Design (DED) yang memuat spesifikasi teknis pembangkit serta analisis pola operasi dan dampaknya terhadap jaringan distribusi. Berdasarkan hasil analisis, integrasi pembangkit dengan tegangan nominal 20 kV dan faktor daya 0,85 akan menginjeksikan arus sebesar 156,2242 A ke jaringan. Kondisi tersebut menyebabkan perubahan arah aliran daya sekaligus meningkatkan pembebanan penghantar eksisting AAAC 70 mm² yang memiliki Kuat Hantar Arus (KHA) sebesar 155 A, sehingga kapasitas penghantar tidak lagi mencukupi untuk menyalurkan daya secara optimal.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa setelah interkoneksi PLTM, arus pada titik masuk jaringan mencapai 156,2242 A dan berangsur menurun hingga 102,8193 A di GH Maruni akibat adanya sadapan beban di sepanjang penyulang. Peningkatan arus tersebut berdampak pada kenaikan jatuh tegangan (voltage drop) dengan total sebesar 3.335,254 V atau 16,6763% dari tegangan nominal 20 kV, jauh melampaui batas maksimum 5% sesuai standar PLN. Selain itu, susut teknis pada jaringan mencapai 643,5648 kW dengan estimasi rugi energi sebesar 3.860.083,8415 kWh per tahun berdasarkan durasi operasi pembangkit selama 5.997,972 jam per tahun.

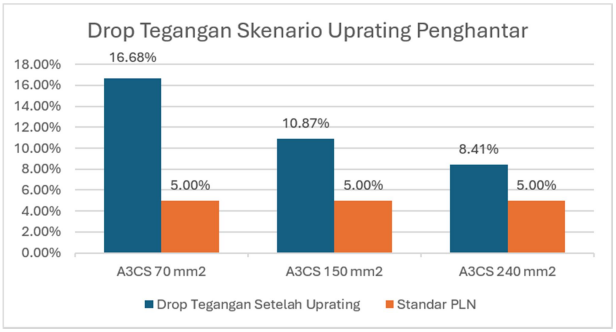
Kondisi tersebut menunjukkan bahwa interkoneksi PLTM tidak hanya meningkatkan pembebanan penghantar, tetapi juga memperburuk kualitas daya dan berpotensi mempercepat penurunan umur operasional penghantar akibat pemanasan berlebih. Hal ini terjadi karena susut daya berbanding lurus dengan kuadrat arus yang mengalir pada jaringan. Oleh karena itu, penambahan suplai daya dari pembangkit belum cukup untuk menjamin kualitas penyaluran listrik apabila tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas jaringan. Dengan demikian, uprating penghantar menjadi salah satu solusi yang diperlukan untuk meningkatkan kemampuan hantar arus, mengurangi susut energi, serta menjaga keandalan Penyulang Seruni setelah integrasi PLTM Warnasi-Warkapi.

Analisis Teknis Perbaikan Kualitas Daya Listrik Penyulang Seruni

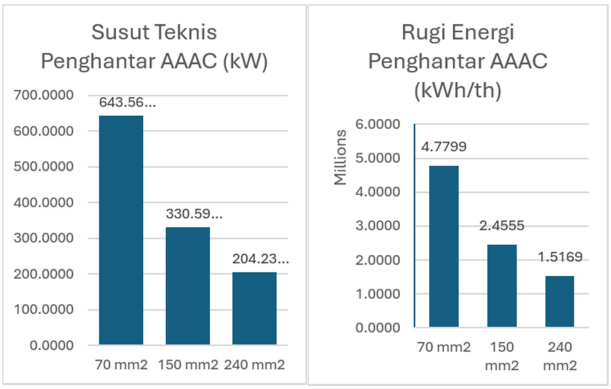
Berdasarkan hasil perhitungan arus pascainterkoneksi PLTM Warnasi-Warkapi, penghantar eksisting AAAC 70 mm² dengan Kuat Hantar Arus (KHA) sebesar 155 A tidak lagi mampu menampung arus injeksi pembangkit sebesar 156,2242 A. Mengacu pada SPLN D5.003:2008 dan perhitungan kebutuhan luas penampang untuk membatasi jatuh tegangan maksimal sebesar 1.000 V, diperoleh kebutuhan penampang penghantar sebesar 187,4684 mm². Oleh karena itu, terdapat dua alternatif uprating yang dianalisis, yaitu AAAC 150 mm² sesuai rencana PLN UP3 Manokwari dalam dokumen DED PLTM Warnasi-Warkapi tahun 2020 dan AAAC 240 mm² sebagai ukuran standar terdekat dengan hasil perhitungan kebutuhan penampang.

Hasil analisis teknis menunjukkan bahwa peningkatan luas penampang penghantar mampu memperbaiki kualitas daya Penyulang Seruni. Total jatuh tegangan mengalami penurunan dari 16,68% pada penghantar AAAC 70 mm² menjadi 10,87% pada AAAC 150 mm² dan 8,41% pada AAAC 240 mm². Sementara itu, susut teknis berkurang dari 643,5648 kW menjadi 330,5984 kW dan 204,2363 kW. Penurunan tersebut turut mengurangi rugi energi tahunan dari 3.860.084 kWh menjadi 1.982.920 kWh pada AAAC 150 mm² dan 1.225.004 kWh pada AAAC 240 mm². Hal ini terjadi karena semakin besar luas penampang penghantar, semakin kecil nilai resistansinya sehingga kemampuan hantar arus meningkat dan energi yang terbuang sebagai panas dapat ditekan.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X



Gambar 3. Perbandingan Nilai Drop Tegangan Skenario Uprating Penghantar



Gambar 4. Perbandingan Nilai Susut Teknis dan Rugi Energi Skenario Uprating Penghantar

Meskipun demikian, kedua skenario uprating belum mampu memenuhi standar jatuh tegangan maksimum 5% sesuai ketentuan PLN. Kondisi ini disebabkan oleh dominasi komponen jatuh tegangan induktif yang dipengaruhi oleh reaktansi dan panjang saluran, sedangkan perubahan luas penampang hanya memberikan pengaruh kecil terhadap nilai reaktansi karena jarak antar penghantar relatif tetap. Dengan demikian, uprating penghantar, khususnya AAAC 240 mm², efektif dalam mengurangi jatuh tegangan, susut teknis, dan rugi energi, tetapi masih diperlukan metode perbaikan tambahan, seperti pembagian beban atau penambahan titik interkoneksi, agar kualitas tegangan dapat memenuhi standar.

Analisis Kelayakan Finansial

Pada penelitian ini, evaluasi didasarkan pada nilai kerugian finansial akibat energi yang hilang karena susut teknis, dengan menggunakan BPP tenaga listrik Kabupaten Manokwari sebesar Rp1.602,29/kWh. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kerugian energi pada penghantar AAAC 70 mm² mencapai Rp6.184.973.738/tahun, sedangkan setelah uprating menjadi AAAC 150 mm² turun menjadi Rp3.177.212.537/tahun dan AAAC 240 mm² menjadi Rp1.962.811.301/tahun. Nilai kerugian tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi kelayakan finansial investasi uprating penghantar.

Cash flow merupakan selisih antara arus kas masuk (cash inflow) dan arus kas keluar (cash outflow) dalam suatu periode. Pada proyek uprating penghantar JTM, cash outflow merupakan biaya investasi awal yang mencakup pengadaan material, jasa pembongkaran, dan pemasangan penghantar baru, dengan total biaya sebesar Rp4.263.313.111 untuk AAAC 150 mm² dan Rp5.841.549.019 untuk AAAC 240 mm², sedangkan kondisi eksisting AAAC 70 mm² tidak memerlukan investasi tambahan. Sementara itu, cash inflow diperoleh dari penghematan kerugian energi setiap tahun dibandingkan kondisi

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

awal, yaitu sebesar Rp3.007.761.202 untuk penghantar 150 mm² dan Rp4.222.162.438 untuk penghantar 240 mm².

Tabel 1. Perhitungan Cash Outflow Proyek Uprating Penghantar

Item	Ukuran Penghantar		
	70 mm²	**150 mm²**	**240 mm²**
Biaya Material	Rp -	Rp3.081.466.627,71	Rp4.423.368.569,19
Jasa Pasang	Rp -	Rp679.423.785,00	Rp759.355.995,00
Jasa Bongkar	Rp -	Rp79.932.210,00	Rp79.932.210,00
Total	Rp -	Rp3.840.822.622,71	Rp5.262.656.774,19
PPN 11%	Rp -	Rp422.490.488,50	Rp578.892.245,16
Grand Total	**Rp -**	**Rp4.263.313.111,21**	**Rp5.841.549.019,35**

Perhitungan NPV dilakukan dengan mendiskontokan arus kas tahunan menggunakan tingkat diskonto yang dipangkatkan sesuai periode penerimaan. Pada penelitian ini, tingkat diskonto mengacu pada Weighted Average Cost of Capital (WACC) PT PLN (Persero) sebesar 8%, dengan asumsi umur operasi PLTM Warnasi-Warkapi selama 30 tahun. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa skenario uprating penghantar AAAC 150 mm² menghasilkan NPV sebesar Rp29.597.410.844, sedangkan AAAC 240 mm² menghasilkan NPV sebesar Rp41.690.640.946. Kedua alternatif memiliki nilai NPV positif, sehingga dinilai layak secara finansial. Namun, penghantar AAAC 240 mm² memberikan nilai tambah ekonomi yang lebih besar dibandingkan AAAC 150 mm² selama umur proyek.

IRR merupakan parameter kelayakan finansial yang menunjukkan tingkat pengembalian internal suatu investasi, yaitu tingkat diskonto yang menghasilkan nilai NPV sama dengan nol. Semakin tinggi nilai IRR, semakin besar tingkat pengembalian yang dihasilkan proyek dibandingkan dengan investasi awal. Pada penelitian ini, perhitungan IRR dilakukan terhadap arus kas proyek sebelum didiskontokan selama umur investasi 30 tahun. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa skenario uprating penghantar AAAC 150 mm² memiliki IRR sebesar 70,55%, sedangkan AAAC 240 mm² mencapai 72,28%. Dengan demikian, kedua alternatif menunjukkan tingkat pengembalian investasi yang tinggi, dengan AAAC 240 mm² memberikan nilai IRR lebih besar dibandingkan AAAC 150 mm².

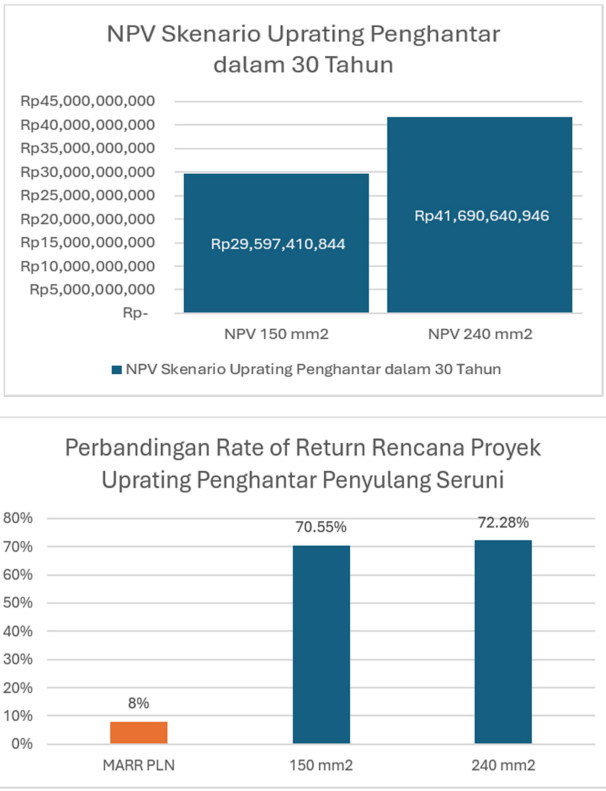
Perhitungan payback period dilakukan dengan membagi total investasi awal dengan nilai cash flow tahunan. Berdasarkan hasil perhitungan, skenario uprating penghantar AAAC 150 mm² dengan investasi sebesar Rp4.263.313.111 dan arus kas tahunan Rp3.007.761.202 memiliki periode pengembalian sekitar 1,42 tahun atau 1 tahun 6 bulan. Sementara itu, penghantar AAAC 240 mm² dengan investasi sebesar Rp5.841.549.019 dan arus kas tahunan Rp4.222.162.438 memiliki periode pengembalian sekitar 1,38 tahun atau 1 tahun 5 bulan. Dengan demikian, alternatif AAAC 240 mm² mampu mengembalikan modal investasi lebih cepat dibandingkan AAAC 150 mm².

Tabel 2. Hasil Perhitungan Kelayakan Finansial Proyek Uprating Penghantar

Parameter	Standar	Ukuran Penghantar		
		70 mm²	**150 mm²**	**240 mm²**
Rugi rupiah (Rp/tahun)	-	6.184.973.738	3.177.212.537	1.962.811.301
CAPEX	-	-	4.263.313.111	5.841.549.019
Penghematan/tahun	-	-	3.007.761.202	4.222.162.438
NPV (30 tahun, i=8%)	>0	-	29.597.410.844	41.690.640.946
IRR	8%	-	70,55%	72,28%
Payback Period	-	-	1 tahun 6 bulan	1 tahun 5 bulan

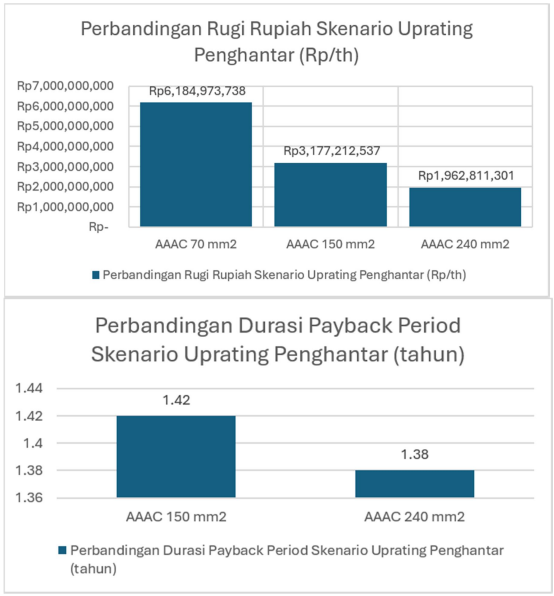
E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Berdasarkan hasil analisis kelayakan finansial, penerapan uprating penghantar pada penyulang Seruni mampu mengurangi kerugian finansial akibat susut energi secara signifikan. Pada kondisi eksisting dengan penghantar AAAC 70 mm², kerugian energi mencapai Rp6.184.973.738/tahun, sedangkan setelah dilakukan uprating menjadi AAAC 150 mm² dan 240 mm², kerugian tersebut masing-masing turun menjadi Rp3.177.212.537 dan Rp1.962.811.301/tahun, dengan penghematan sebesar Rp3.007.761.202 dan Rp4.222.162.438 per tahun. Selama umur proyek 30 tahun dengan tingkat diskonto 8%, kedua alternatif menghasilkan NPV positif, yaitu Rp29.597.410.844 untuk AAAC 150 mm² dan Rp41.690.640.946 untuk AAAC 240 mm². Nilai IRR masing-masing sebesar 70,55% dan 72,28%, lebih tinggi dibandingkan WACC atau MARR PT PLN (Persero) sebesar 8%, sehingga keduanya memenuhi kriteria kelayakan investasi. Selain itu, periode pengembalian modal untuk AAAC 150 mm² adalah sekitar 1 tahun 6 bulan, sedangkan AAAC 240 mm² sekitar 1 tahun 5 bulan. Berdasarkan keseluruhan parameter tersebut, penghantar AAAC 240 mm² menunjukkan hasil finansial yang lebih baik karena menghasilkan kerugian energi paling rendah, penghematan tahunan dan NPV tertinggi, IRR terbesar, serta periode pengembalian investasi paling singkat.



Gambar 5. Perbandingan NPV dan IRR Skenario Uprating Penghantar

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X



Gambar 6. Perbandingan Rugi Rupiah dan Payback Period Skenario Uprating Penghantar

Hasil Analisis Tekno-Ekonomi Uprating Penghantar

Analisis tekno ekonomi dilakukan untuk menentukan taraf kompromi antara efektivitas teknis dan efisiensi ekonomis pilihan ukuran uprating penghantar Penyulang Seruni. Berikut merupakan tabel perbandingan perhitungan teknis dan ekonomis dari pilihan ukuran penghantar.

Tabel 3. Analisis Tekno-Ekonomi Uprating Penghantar Penyulang Seruni

Parameter	Standar	Ukuran Penghantar		
		70 mm²	150 mm²	240 mm²
%Vd	5%	16,68%	10,87%	8,41%
Vd Total Vd Resistif (R) Vd Induktif (X)	1.000	3.335,254 2.244,62 1.090,638	2.173,822 1.153,056 1.020,766	1.681,965 712,332 969,633
Rugi energi (kWh/tahun)	-	3.860.084	1.982.920	1.225.004
Rugi rupiah (Rp/tahun)	-	6.184.973.738	3.177.212.537	1.962.811.301
CAPEX	-	-	4.263.313.111	5.841.549.019
Penghematan/tahun	-	-	3.007.761.202	4.222.162.438
NPV (30 tahun, i=8%)	>0	-	29.597.410.844	41.690.640.946
IRR	8%	-	70,55%	72,28%
Payback Period		-	1 tahun 6 bulan	1 tahun 5 bulan

Berdasarkan hasil analisis tekno-ekonomi, penghantar AAAC 240 mm² direkomendasikan sebagai pilihan uprating untuk menggantikan rekomendasi 150 mm² pada DED PLN tahun 2020. Secara teknis, penghantar 240 mm² menghasilkan jatuh tegangan total terendah sebesar 8,41%, komponen jatuh tegangan resistif sebesar 712,33 V, serta rugi energi sebesar 1.225.004 kWh/tahun. Dari sisi ekonomi, meskipun membutuhkan investasi awal (CAPEX) lebih besar, penghantar 240 mm² memberikan NPV sebesar Rp41,69 miliar dan IRR 72,28%, lebih tinggi dibandingkan penghantar 150 mm² yang menghasilkan NPV Rp29,59 miliar dan IRR 70,55%. Selain itu, periode

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

pengembalian investasi (Payback Period) mencapai 1 tahun 5 bulan, atau satu bulan lebih cepat dibandingkan alternatif 150 mm².

Hasil juga menunjukkan bahwa seluruh skenario uprating belum mampu memenuhi batas jatuh tegangan 5% sesuai SPLN 72:1987, karena komponen reaktansi masih dominan dan relatif tidak berubah terhadap peningkatan luas penampang penghantar. Meskipun demikian, uprating tetap memberikan manfaat signifikan, yaitu menurunkan jatuh tegangan dari 16,68% menjadi 8,41% dan mengurangi rugi energi sebesar 68,3%, dengan waktu pengembalian investasi kurang dari 1,6 tahun serta IRR jauh di atas MARR sebesar 8%. Oleh karena itu, uprating AAAC 240 mm² dinilai layak diterapkan sebagai langkah perbaikan kualitas daya, tetapi perlu didukung mitigasi tambahan, seperti pemasangan regulator tegangan, pengaturan faktor daya PLTM, atau pembagian beban melalui penambahan titik interkoneksi agar standar tegangan dapat terpenuhi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, kondisi awal Penyulang Seruni dengan penghantar AAAC 70 mm² menunjukkan kualitas daya yang belum optimal, dengan drop tegangan sebesar 16,68% dan rugi energi mencapai 3.860.084 kWh/tahun. Setelah dilakukan uprating, penghantar AAAC 150 mm² mampu menurunkan drop tegangan menjadi 10,87% dan rugi energi menjadi 1.982.920 kWh/tahun, sedangkan AAAC 240 mm² memberikan hasil lebih baik, yaitu drop tegangan sebesar 8,41% dan rugi energi sebesar 1.225.004 kWh/tahun. Meskipun belum memenuhi batas drop tegangan maksimal 5% sesuai SPLN 72:1987 akibat dominasi komponen tegangan induktif, penerapan uprating menghasilkan penghematan biaya kerugian energi sebesar Rp3,01 miliar/tahun untuk AAAC 150 mm² dan Rp4,22 miliar/tahun untuk AAAC 240 mm², dibandingkan kerugian awal sebesar Rp6,18 miliar. Berdasarkan evaluasi tekno-ekonomi, penghantar AAAC 240 mm² menjadi alternatif terbaik dengan NPV Rp41,69 miliar, IRR 72,28%, dan Payback Period 1 tahun 5 bulan selama umur proyek 30 tahun, sehingga dinilai layak karena tingkat pengembaliannya melampaui MARR PT PLN (Persero) sebesar 8%. Berdasarkan analisis teknis ditemukan bahwa uprating penghantar tidak dapat memperbaiki total drop tegangan hingga di dalam standar SPLN 72:1987 yaitu <5%. Hal ini dapat menjadi pertimbangan untuk analisis teknis perbaikan daya di lokasi lainnya agar metodenya tepat sasaran sehingga efektif mengurangi drop tegangan pada jaringan.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, D., & Badaruddin, B. (2020). Analisa Perbaikan Penampang Penghantar Guna Mengurangi Drop Tegangan dan Simulasi Etap 16.0 Pada JTR GD KRDB di Wilayah Kerja PT. PLN (Persero) ULP Serang Kota. *Jurnal Teknologi Elektro*, *11*(1), 24. https://doi.org/10.22441/jte.2020.v11i1.004

Anthony, Z., Amalia, S., & Sari, H. F. P. (2020). Perbaikan Nilai Susut Teknis Jaringan Tegangan Menengah Penyulang 5 Matur PT PLN Rayon Koto Tuo. *Jurnal Teknik Elektro*, *9*(2), 67–72.

Azizah, N., Adaniah, N., Naim, M. Y., Sugianto, & Syarifuddin, A. (2025). Analisis Efisiensi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro Di Desa Pao Kecematan Tombolo Pao Kabupaten Gowa Sebagai Alternatif Sumber Energi Listrik. *Jurnal LOGITECH Logika Technology*, *7*(2). https://doi.org/10.64109/logitech.v7i2.8

Blank, L. T., & Tarquin, A. J. (2012). *Engineering Economy* (7th ed.). McGraw-Hill.

Brigham, E. F., & Houston, J. F. (2015). Fundamentals of Financial Management, concise 8th edition. *Mason, OH: South-Western, Cengage Learning*, *4*(1), 1–15.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Franscolina, B., & Gunasti, A. (2026). ANALISIS KELAYAKAN FINANSIAL TERHADAP PROYEK PEMBANGUNAN VILLA DI KAWASAN SEMINYAK BALI MENGGUNAKAN METODE NET PRESENT VALUE (NPV) DAN INTERNAL RATE OF RETURN (IRR). *Jurnal Media Akademik (JMA)*, *4*(6).

Hadi, M., Afrianto, & Syaukani, I. (2025). Perencanaan dan Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Indonesia : Tinjauan Literatur. *Impression : Jurnal Teknologi Dan Informasi*, *4*(2), 258–270. https://doi.org/10.59086/jti.v4i2.983

Karomi, M. A., & Adhi Nugroho, A. (2026). ANALISIS UPRATING PENGHANTAR JTM UNTUK PERBAIKAN NILAI DROP VOLTAGE DAN LOSSES PADA PENYULANG KAONAK PT PLN (PERSERO) ULP WAMENA KOTA. *Elektrika*, *18*(1), 15–20. https://doi.org/10.26623/elektrika.v18i1.13938

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2021). *Kepmen No. 169.K/HK.02/MEM.M/2021 Tentang Besaran Biaya Pokok Penyediaan Pembangkitan PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2020*.

Kementerian Keuangan Republik Indonesia. (2025). *Peraturan Menteri Keuangan No. 20 Tahun 2025 tentang Tata Cara Penyediaan, Penghitungan, Pembayaran dan Pertanggungjawaban Subsidi Listrik*.

Laia, I. (2018). Analisa Perencanaan PLTMH Pada Sungai Batang Palangai Gadang Kabupaten Pesisir Selatan Provinsi Sumatera Barat. *Menara Ilmu: Jurnal Penelitian Dan Kajian Ilmiah*, *12*(10).

Latif, N. Y., Indrawan, A. W., Noor, N. A., & Rahmadani, A. (2025). ANALISIS DAMPAK INTEGRASI GARDU INDUK MOUTONG TERHADAP DROP TEGANGAN SISTEM ISOLATED ULP KOTARAYA. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, *13*(3).

Malik, M. F., L, R., Saputri Alvira WS, W., & Rahmadani, A. (2025). ANALISIS PECAH BEBAN DAN PENAMBAHAN GARDU HUBUNG PENYULANG TINOMBO TERHADAP SUSUT TEKNIS SERTA JATUH TEGANGAN. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, *13*(3S1). https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3S1.8011

PT. PLN (Persero). (1987). *SPLN 72 : 1987 Tentang Spesifikasi Desain Untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR).*

PT. PLN (Persero). (2020). *Report DED PLTM Warnasi 2x2.30 MW rev.1 230420*.

PT. PLN (Persero). (2025). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2025-2034*. PT. PLN (Persero). https://web.pln.co.id/stakeholder/ruptl

Rahmadani, A., & Fernandes, A. (2025). A Portable Device for Energy and Back-Billing Monitoring to Reduce Distribution Losses at PLN ULP Bangkir. *2025 International Conference on Technology and Policy in Energy and Electric Power (ICT-PEP)*, 1–6. https://doi.org/10.1109/ICT-PEP67281.2025.11232301

Sinaga, M. T. W., Pambudi, Y. W., & Suherman, S. (2021). Dropped voltage analysis on 20 KV distribution network. *Journal of Physics: Conference Series*, *1783*(1), 12061.

Suandi, S., & Chayati, N. (2018). Studi kelayakan finansial pada proyek pembangunan pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTM) Pongkor. *Prosiding Semnastek*.

Sugiyono, P. D. (2019). metode penelitian pendidikan (kuantitatif, kualitatif, kombinasi, R&D dan penelitian pendidikan). *Metode Penelitian Pendidikan*, *67*, 18.

Surusa, F., Aini, Q., Pratiwi, A. I., & Mohamad, Y. (2024). Analisis Susut Non Teknis Akibat Gangguan pada kWh Meter PT. PLN UP3 Gorontalo. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, *6*(1), 32–38.

Taufiqurrahman, A., & Windarta, J. (2020). Overview Potensi dan Perkembangan Pemanfaatan Energi Air di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, *1*(3), 124–132. https://doi.org/10.14710/jebt.2020.10036

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Trivania, I., Situmeang, T. G. S., Sihaloho, M. L. A., Amrita, A. A. N., Jasa, L., Sukerayasa, I. W., Rahardjo, P., & Santiari, D. A. S. (2025). Rancang Bangun Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Dengan Studi Kasus Saluran Irigasi Di Desa Medewi Kecamatan Pekutatan Kabupaten Jembrana. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, *24*(1), 79–94. https://doi.org/10.24843/MITE.205.v24i01.P08

Widyastuti, I., R. L, P., Dualembang, H., P. Kombong, E., & Sanggamele, H. (2026). A STUDY OF FINANCIAL FEASIBILITY OF MOANAMANI MICROHYDRO POWER PLANT (PLTMH) (A CASE STUDY IN EKEMANIDA VILLAGE, MOANAMI DISTRICT, DOGIYAI REGENCY). *JURNAL TEKNIK SIPIL CENDEKIA (JTSC)*, *7*(1), 15–31. https://doi.org/10.51988/jtsc.v7i1.415