



Kajian Kelayakan Proyek Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air di Kumbih Aceh

Rizky David Lumbantoruan¹

¹Magister Teknik Elektro, Sekolah Pascasarjana, Institut Teknologi PLN, Jakarta, Indonesia,
rizky2310545@itpln.ac.id

Corresponding Author: rizky2310545@itpln.ac.id¹

Abstract: This study evaluates the technical and financial feasibility of the 45 MW Kumbih-3 Hydropower Plant project in Aceh using a mixed-methods approach that combines quantitative and qualitative analysis. The technical assessment is based on historical discharge data of 31.5 m³/s, ranging from 11.62–34.77 m³/s and annual rainfall (2,765–2,931 mm), which support the determination of optimal capacity and a capacity factor of 62.47%. The financial analysis was conducted through six scenarios, namely low, moderate, high, historical discharge 1, and historical discharge 2. The results show that under the moderate scenario, the project is feasible with an NPV of Rp 251,352 million, a BCR of 1.14, an IRR of 11.15%, and a payback period of 23 years. However, the low scenario (20% decrease in capacity factor) results in a negative NPV of -Rp 437,659 million, while the high scenario (20% increase) yields a positive NPV of Rp 940,363 million. The historical discharge analysis provides additional insights into water flow uncertainty, with the historical discharge 2 scenario demonstrating feasibility, achieving an NPV of Rp 457,175 million, a BCR of 1.26, an IRR of 12.04%, and a payback period of 19 years. Expert validation emphasizes the necessity of constructing a pondage and applying fixed-price contracts to mitigate technical and financial risks. Overall, the project is considered feasible, strategic in reducing Aceh's projected electricity deficit of 189 MW by 2030, and contributive to achieving Indonesia's renewable energy transition targets.

Keyword: Hydropower, Financial Feasibility, Sensitivity Analysis, Renewable Energy, Risk Mitigation.

Abstrak: Penelitian ini mengevaluasi kelayakan teknis dan finansial pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Kumbih-3 berkapasitas 45 MW di Aceh dengan pendekatan mixed-methods yang menggabungkan analisis kuantitatif dan kualitatif. Analisis teknis didasarkan pada data debit historis yaitu 31,5 m³/s, rentang 11,62–34,77 m³/s dan curah hujan tahunan (2.765–2.931 mm), yang menghasilkan kapasitas optimal serta faktor kapasitas 62,47%. Kajian finansial dilakukan melalui enam skenario, yaitu low, moderate, high, debit historis 1, debit historis 2. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada skenario moderate, proyek layak dengan NPV Rp 251.352 juta, BCR 1,14, IRR 11,15%, dan payback period 23 tahun. Namun, skenario low (penurunan kapasitas 20%) menghasilkan NPV negatif sebesar -Rp 437.659 juta, sementara skenario high (peningkatan kapasitas 20%)

menghasilkan NPV positif Rp 940.363 juta. Analisis debit historis memberikan gambaran tambahan atas ketidakpastian aliran air, dengan hasil pada skenario debit historis 2 menunjukkan hasil yang layak dengan NPV Rp 457.175 juta, BCR 1,26, IRR 12,04%, dan *payback period* 19 tahun. Validasi pakar menekankan kebutuhan pembangunan kolam tando (*pondage*) dan penerapan kontrak *fixed-price* untuk mitigasi risiko teknis dan keuangan. Secara keseluruhan, proyek ini dinilai layak, strategis dalam mengurangi proyeksi defisit listrik Aceh sebesar 189 MW pada tahun 2030, serta berkontribusi terhadap pencapaian target transisi energi terbarukan nasional.

Kata Kunci: PLTA, Kelayakan Finansial, Analisis Sensitivitas, EBT dan Mitigasi Risiko.

PENDAHULUAN

Perubahan iklim telah menjadi krisis global yang mendesak, ditandai dengan kenaikan suhu rata-rata bumi sebesar 1°C sejak era pra-industri (Hannah Ritchie, 2025). Emisi karbon dioksida (CO₂) dari sektor energi mencapai 35 miliar ton per tahun, dengan pembangkit fosil menyumbang 73% dari total emisi tersebut (Hannah Ritchie, 2025). Untuk membatasi kenaikan suhu di bawah 1.5°C sesuai Perjanjian Paris, lebih dari 130 negara telah berkomitmen mencapai *Net Zero Emission* (NZE) pada 2050 –2060, dengan transisi ke Energi Baru Terbarukan (EBT) sebagai strategi inti (Muslim, Ikhsan, Arifin, & Reza, 2024). Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, memiliki kekayaan sumber daya alam yang melimpah, termasuk potensi energi terbarukan yang signifikan. Salah satu sumber energi terbarukan yang menonjol adalah energi hidro, yang berasal dari aliran sungai dan air terjun yang tersebar di seluruh nusantara. Pemanfaatan energi hidro melalui Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) tidak hanya berperan dalam memenuhi kebutuhan listrik nasional, tetapi juga mendukung komitmen Indonesia dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan mencapai target bauran energi terbarukan.

Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Indonesia memiliki potensi energi hidro sebesar 75.000 MW, sebagaimana diidentifikasi dalam kajian bersama antara PLN dan Nippon Koei pada tahun 1983.

Tabel 1. Potensi Energi Air Per Wilayah

No	Provinsi	Potensi (MW)
1	Papua	22.371
2	Kalimantan (Selatan, Tengah, dan Timur)	16.844
3	Sulawesi (Selatan dan Tenggara)	6.340
4	Aceh	5.062
5	Kalimantan Barat	4.737
6	Sulawesi (Utara dan Tengah)	3.967
7	Sumatera Utara	3.808
8	Sumatera Barat, Riau	3.607
9	Sumatera Selatan, Bengkulu, Jambi, Lampung	3.102
10	Jawa Barat	2.861
11	Jawa Tengah	813
12	Jawa Timur	525
13	Bali, NTB, NTT	624
14	Maluku	430
Total		75.091

Sumber: Kementerian ESDM (ESDM, 2017)

Namun, kajian lanjutan yang dirangkum dalam *Hydropower Development Plan* tahun 2011 menyaring potensi tersebut menjadi 12.894 MW di 89 lokasi yang dianggap paling layak untuk pengembangan PLTA (EBTKE, 2021). Meskipun demikian, hingga tahun 2023, pemanfaatan energi hidro di Indonesia baru mencapai sekitar 6,7 GW, atau sekitar 7% dari total potensi yang ada. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar potensi energi hidro Indonesia belum dimanfaatkan secara optimal.



Gambar 1. Peta Potensi Energi Hidro

Sumber: P3TEK KEBTEK, 2020

Provinsi Aceh, sebagai bagian integral dari Indonesia, memiliki sumber daya air yang melimpah yang berpotensi untuk dikembangkan menjadi pembangkit listrik tenaga air. Namun, meskipun memiliki sumber daya tersebut, Aceh menghadapi tantangan dalam memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan populasi. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2023, pertumbuhan ekonomi Aceh mencapai 5,2% per tahun (BPS, 2023). Pertumbuhan ini tentunya berdampak pada peningkatan kebutuhan energi listrik di wilayah tersebut.

Proyeksi kebutuhan listrik di Aceh menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam dekade mendatang. Menurut Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) tahun 2021-2030, penjualan listrik di Aceh diproyeksikan meningkat dengan rata-rata pertumbuhan sebesar 11,7% per tahun (RUPTL, 2021). Pertumbuhan ini jauh lebih tinggi dibandingkan rata-rata nasional, yang menunjukkan betapa mendesaknya kebutuhan akan tambahan pasokan listrik di Aceh.

Defisit pasokan listrik di Aceh menjadi perhatian serius. Tanpa adanya penambahan kapasitas pembangkit listrik yang signifikan, diperkirakan akan terjadi defisit listrik sebesar 189 MW pada tahun 2030. Defisit ini dapat menghambat pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat Aceh, mengingat listrik merupakan salah satu infrastruktur vital untuk berbagai sektor, termasuk industri, pendidikan, dan kesehatan. Selain itu, defisit listrik dapat menyebabkan peningkatan biaya operasional bagi industri dan rumah tangga akibat ketergantungan pada pembangkit listrik berbahan bakar fosil yang lebih mahal dan kurang ramah lingkungan.

Salah satu upaya untuk mengatasi defisit listrik tersebut adalah dengan memanfaatkan potensi energi terbarukan yang ada, khususnya energi hidro. Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Kumbih-3 dengan kapasitas 45 MW (PT PLN Persero, 2021-2030) di Provinsi Aceh merupakan salah satu inisiatif strategis dalam konteks ini. Proyek ini tidak

hanya bertujuan untuk memenuhi kebutuhan listrik yang meningkat, tetapi juga sebagai langkah konkret dalam mendukung komitmen Indonesia untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan porsi energi terbarukan dalam bauran energi nasional.

Investasi yang dibutuhkan untuk pembangunan PLTA Kumbih-3 berasal dari pinjaman KfW Jerman dan *equity* yang disiapkan oleh PLN. Meskipun nilai investasi ini cukup besar, manfaat jangka panjang yang dihasilkan, baik dari segi ekonomi maupun lingkungan, diyakini akan sebanding. Selain menyediakan pasokan listrik yang andal, PLTA Kumbih-3 diharapkan dapat mengurangi emisi CO₂ dengan menggantikan pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) yang berbahan bakar fosil. Pengurangan emisi ini sejalan dengan upaya global dalam mitigasi perubahan iklim dan komitmen Indonesia dalam perjanjian internasional terkait lingkungan (KLHK, 2022) (Faizatul Hasanah Z Day & Iwa Garniwa Mulyana K, 2024).

Selain manfaat lingkungan, keberadaan PLTA Kumbih-3 juga diharapkan dapat memberikan dampak positif terhadap perekonomian lokal. Pembangunan infrastruktur pembangkit listrik ini akan membuka lapangan kerja baru, baik selama fase konstruksi maupun operasional. Selain itu, dengan ketersediaan listrik yang memadai, sektor industri dan usaha kecil menengah di Aceh dapat berkembang lebih pesat, yang pada gilirannya akan meningkatkan pendapatan masyarakat dan pendapatan asli daerah. Namun, keberhasilan proyek ini tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan dana atau potensi teknis yang ada, tetapi juga oleh hasil kajian kelayakan teknis dan finansial yang komprehensif. Kajian teknis mencakup analisis terhadap aspek hidrologi, topografi, desain teknis, teknologi yang digunakan, serta kesesuaian lokasi terhadap standar pembangunan PLTA. Sementara itu, kajian finansial akan mengevaluasi aspek biaya investasi, biaya operasi dan pemeliharaan, proyeksi pendapatan, serta indikator kelayakan finansial seperti *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR) dan *Payback Period*.

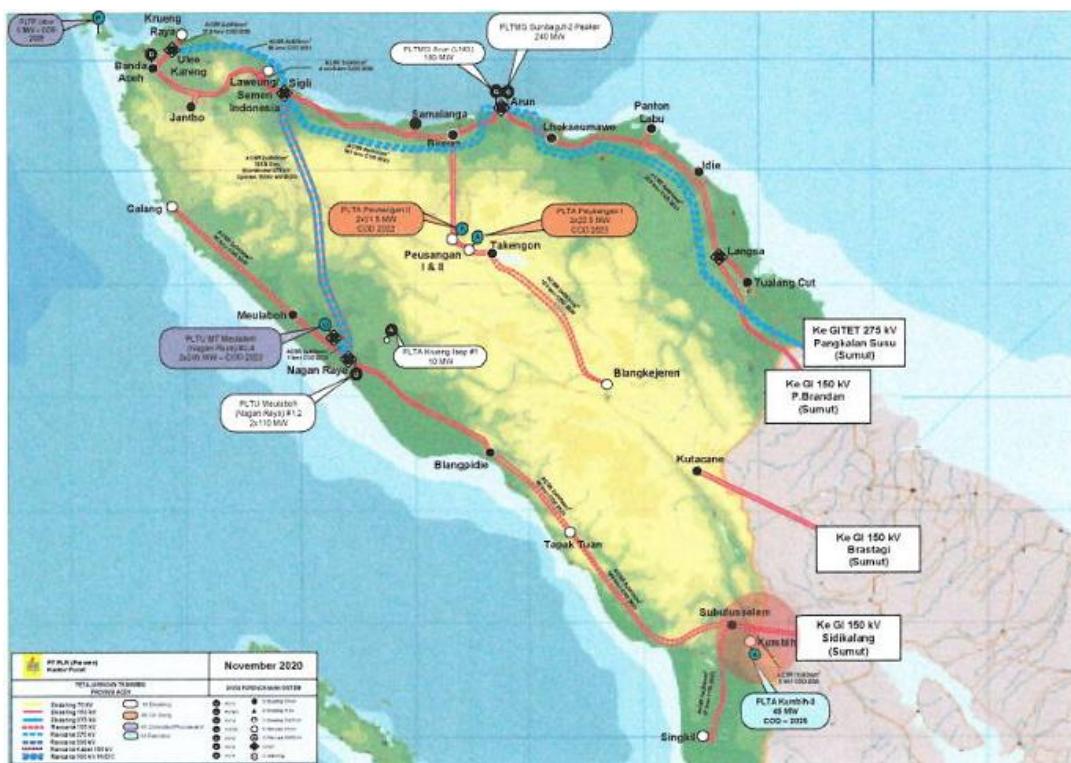
Studi kelayakan ini menjadi krusial untuk memastikan bahwa pembangunan PLTA Kumbih-3 tidak hanya layak dari sisi lingkungan dan sosial, tetapi juga secara teknis dan ekonomis. Hal ini penting untuk menjamin keberlangsungan proyek dalam jangka panjang serta memberikan manfaat maksimal bagi daerah dan negara.

Dengan demikian, kajian kelayakan teknis dan finansial proyek PLTA Kumbih-3 ini memiliki urgensi tinggi dalam konteks mendukung ketahanan energi nasional, mempercepat transisi energi bersih, dan menjawab kebutuhan listrik regional yang terus meningkat. Hasil kajian diharapkan dapat menjadi dasar pengambilan keputusan yang objektif, efisien, dan berdampak positif terhadap pembangunan berkelanjutan di Provinsi Aceh. Oleh karena itu, analisis yang mendalam dan komprehensif terhadap proses tersebut menjadi sangat penting untuk memastikan bahwa proyek ini dapat berjalan lancar dan mencapai tujuan yang telah ditetapkan.

METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

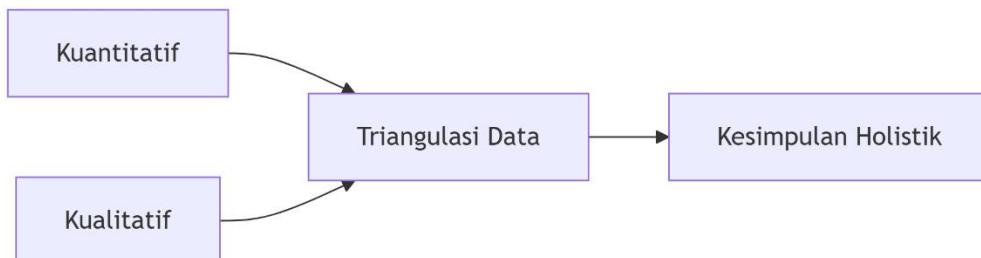
Penelitian ini dilakukan di lokasi proyek PLTA Kumbih-3 yang terletak di Aceh. Waktu penelitian berlangsung selama 6 (enam) bulan, dimulai dari tahap pengumpulan data hingga analisis hasil.



Gambar 2. Lokasi PLTA Kumbih

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain *mixed-methods*, yang menggabungkan pendekatan kualitatif dan kuantitatif untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai kajian kelayakan teknis dan finansial PLTA Kumbih-3.



Gambar 3. Pendekatan *Mixed-Method*

Pendekatan Kualitatif

Data primer diperoleh melalui wawancara mendalam dengan tiga ahli energi terbarukan menggunakan *purposive sampling* untuk menggali faktor investasi dan mitigasi risiko proyek PLTA, yaitu:

1. Manager PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Proyek 4;
2. Manager Senior Bidang Perencanaan PT PLN (Persero) Unit Induk Pembangunan Sumatera Bagian;
3. Manajer risiko proyek dari KfW.

Pendekatan Kuantitatif

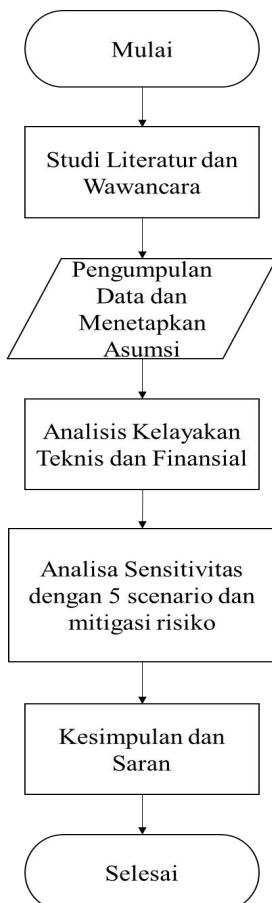
Data sekunder berasal dari:

1. *RUPTL 2021–2030* untuk menilai kesesuaian PLTA Kumbih-3 dengan rencana nasional dan proyeksi kebutuhan energi di Sumatra;
2. *BMKG*, mencakup data historis curah hujan dan debit sungai untuk analisis potensi teknis PLTA melalui perhitungan seperti analisis frekuensi dan debit andalan.

Integrasi Data Kualitatif dan Kuantitatif

Data kuantitatif menyediakan dasar empiris seperti debit air, potensi energi, serta NPV, BCR, IRR, dan *Payback Period*, sementara data kualitatif memberi konteks non-teknis melalui wawancara, analisis kebijakan, dan studi literatur. Keduanya diintegrasikan melalui triangulasi untuk memastikan hasil yang valid, relevan, dan holistik sesuai pendekatan *mixed-methods* (Tashakkori & Teddlie, 2010).

Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini meliputi:

1. Data Primer yaitu observasi langsung ke lokasi proyek dan wawancara dengan pihak terkait.
2. Data Sekunder yaitu studi literatur dari laporan PLN, jurnal akademik, serta dokumen resmi terkait proyek PLTA yang mencakup aspek teknis dan finansial.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Analisis Penentuan Kapasitas Optimal Kelayakan Teknis

1. Analisis data debit historis

Debit rata-rata tahunan di lokasi intake proyek diperkirakan sebesar $21,56 \text{ m}^3/\text{detik}$. Variasi rata-rata debit bulanan selama satu tahun di lokasi *intake* dan data seri debit bulanan. Debit bulanan rata-rata maksimum umumnya tercatat pada bulan Februari, yaitu di akhir musim hujan, sedangkan debit bulanan rata-rata minimum terjadi pada bulan Agustus, di akhir musim kemarau. Secara rata-rata, debit bulanan berkisar antara $11,62$

m^3/detik pada bulan Agustus hingga $34,77 \text{ m}^3/\text{detik}$ pada bulan Februari. Dengan mempertimbangkan rentang debit tersebut, nilai $31,5 \text{ m}^3/\text{s}$ dapat dikatakan sebagai debit yang mendekati debit puncak alami sungai masih dalam batas aman dan tersedia secara cukup sering dalam setahun (14,2% probabilitas kejadian). Pemilihan debit desain ini bertujuan untuk mengakomodir debit tinggi (*peak flow*) tanpa harus membangun sistem yang terlalu besar atau terlalu mahal.

2. Head Bersih

Tinggi maksimum muka air waduk ditetapkan 250 mdpl untuk menjaga jarak bebas lebih dari 5 meter dari elevasi jalan Sidikalang–Subulussalam yang berada pada 255–265 mdpl. Dengan elevasi hilir 73 mdpl, diperoleh head bersih sebesar 177 meter.

3. Curah Hujan

Data curah hujan dari BMKG digunakan untuk menganalisis ketersediaan air PLTA Kumbih yang berada di antara Subulussalam dan Pakpak Bharat. Curah hujan Subulussalam sebesar 2.765 mm/tahun termasuk kategori *high rainfall* (Khare, Jain, & Bhuiyan, 2023), sedangkan Pakpak Bharat mencapai 2.931 mm/tahun—sekitar 6% lebih tinggi—menunjukkan peningkatan gradien hujan ke arah hulu.

4. Kapasitas optimal PLTA Kumbih-3

Dengan parameter yang telah di dapat dari data yang dikumpulkan maka dapat ditentukan kapasitas optimal PLTA Kumbih-3 adalah $\approx 45 \text{ MW}$.

5. Desain Turbin Adaptif

Proyek menggunakan turbin Francis *variable speed* yang efisien pada debit 8–35 m^3/s dengan konfigurasi parsial $3 \times 15 \text{ MW}$, serta jumlah dan kapasitas generator disesuaikan dengan turbin.

6. Desain PLTA yang Digunakan

Berdasarkan *FICHTNER Survey PLTA Kumbih-3 (2016)*, proyek dikategorikan sebagai *run-of-river (ROR)*, sebagaimana ditegaskan dalam laporan bahwa proyek memanfaatkan aliran sungai alami dengan *small pondage* tanpa *reservoir* besar. Pemilihan skema ROR didasari oleh:

- a. Debit Sungai Kumbih yang stabil sehingga tidak memerlukan waduk besar;
- b. Kondisi topografi dan geologi yang tidak sesuai untuk *pumped storage*;
- c. Dampak lingkungan dan sosial yang lebih kecil.

Selain itu, sistem kelistrikan Sumatra yang masih didominasi pembangkit batubara dan gas membuat fungsi penyimpanan energi bukan prioritas. ROR dipandang paling optimal karena memaksimalkan potensi air dengan biaya lebih rendah dan risiko lingkungan minimal. *Pumped storage* tetap memungkinkan, tetapi meningkatkan investasi karena kebutuhan pompa dan dua reservoir tambahan.

Analisis Faktor Kapasitas

1. Faktor kapasitas

Adapun realisasi faktor kapasitas beberapa pembangkit di sistem Sumatera sampai bulan Maret 2021 berdasarkan data PLN UIP3B Sumatera dengan rata – rata 62,47, sehingga faktor kapasitas optimal PLTA Kumbih adalah 62,47%.

2. Load Factor

Secara umum beban di sistem Sumatera masih bertipe residensial, di mana selisih beban puncak dengan luar waktu beban puncak masih cukup tinggi yaitu rata – rata 68.8%, tingginya selisih beban puncak vs. non-puncak membutuhkan pembangkit responsif yaitu PLTA.

Analisis Kelayakan Finansial

1. Asumsi – Asumsi

- a. Asumsi Faktor Ekonomi

Proyek Pembangunan PLTA Kumbih – 3 ini dibiayai dengan pinjaman dari bank berupa kredit investasi sebesar 70% (wd) dari nilai proyek dan 30% (wce) menggunakan *equity*. Untuk kurs tengah dollar ditentukan berdasarkan nilai Kurs Bank Indonesia pertanggal 14 Juli 2025 adalah Rp. 16.247, susut transmisi sebesar 12%, *discount rate* 10%, *corporate tax rate* (T) 22%, biaya equitas (rs) 23,32%. Sehingga dapat dihitung untuk nilai *cost of capital*-nya:

$$WACC = (0,7 \times 4,29\%) + (0,3 \times 23,32\%) = 10\%$$

b. Asumsi Investasi

Nilai investasi awal PLTA Kumbih-3 ditetapkan sebesar Rp. 1.782.325.391.849 di mana Rp. 176.911.117.000 biaya pengembangan (perizinan pembebasan lahan, studi awal, survey topografi dan *feasibility study*) berdasarkan wawancara dan lembar rekapitulasi SKAI tahun 2025 PT PLN (Persero) UIP SUMBAGUT dan Rp. 1.605.414.274.849 berdasarkan laporan survey FICHTNER. Komponen investasi PLTA ini terdiri dari beberapa komponen biaya investasi yaitu:

1) Biaya Pengembangan

Biaya pengembangan yang terdiri dari biaya perizinan, pembebasan lahan, study awal, survey, topografi dan *Feasibility Study*.

2) Biaya Pembangunan atau Konstruksi

Biaya pembangunan atau konstruksi terdiri dari *Preparatory works, civil works, hydraulic steel structures, hydro-mechanical equipment, electrical equipment, transmission line & substation equipment* dan *engineering, admin & supervision*. Investasi pembangunan PLTA Kumbih-3 dengan *lifetime* 30 tahun adalah 98.812.967 USD (Rp. 1.605.414.274.849). Untuk periode konstruksinya adalah 4 tahun dan untuk *Payback Period* ditetapkan adalah tahun ke 23 ($\leq 2/3$ dari *lifetime* di luar konstruksi 4 tahun).

3) Biaya Tetap (*fixed cost*)

Untuk biaya tetap (*fixed cost*) terdiri dari 3 jenis yaitu biaya pemeliharaan, yaitu:

- Pemeliharaan

Pemeliharaan berdasarkan wawancara dan data historis PLTA sejenis yaitu Rp. 11.292.847.000. Di mana pada masa pemeliharaan membutuhkan durasi waktu sebesar 31 hari. Pemeliharaan dilaksanaan pada saat musim kemarau atau debit air terendah dalam 1 tahun yaitu bulan Agustus. Lingkup kerja pemeliharaan ini juga termasuk normalisasi sungai guna mengurangi pendangkalan.

- Kepegawaian

Berdasarkan wawancara dan data historis PLTA sejenis biaya kepegawaian adalah 73 pegawai dengan rata – rata penghasilan sebesar Rp. 15.000.000.

- Administrasi

Berdasarkan wawancara dan data historis PLTA sejenis biaya administrasi rata – rata pertahun adalah 626 juta/tahun.

Untuk kenaikan tarif listrik rata - rata dari 5 tahun terakhir (2020 – 2024) adalah 7,11% (PLN, 2025). Maka jika dihitung per tahun kenaikan tarif listrik rata – rata tarif listrik sebesar 1,42%. Dalam penelitian ini diasumsikan bahwa PLTA beroperasi selama 334 hari per tahun, sementara 31 hari dialokasikan untuk kegiatan pemeliharaan berdasarkan wawancara dengan dan data historis PLTA yang sejenis. Jadwal pemeliharaan ditetapkan pada bulan Agustus, bertepatan dengan periode musim kemarau yang ditandai oleh debit air historis rata-rata hanya sebesar 11,62 m³/s.

2. Skenario *Moderate*

Proyeksi arus kas selama 33 tahun untuk proyek pembangunan PLTA Kumbih berkapasitas 45 MW berdasarkan skenario *moderate* yaitu dengan faktor kapasitas 62,47% sehingga listrik yang dapat di produksi 225.342 MWh/tahun. Proyeksi ini mempertimbangkan berbagai komponen biaya investasi, pemeliharaan dan operasional, serta pendapatan dari hasil penjualan listrik. Pada skenario faktor kapasitas sebesar 62,47%, hasil evaluasi menunjukkan bahwa proyek PLTA Kumbih-3 layak secara finansial. Seluruh indikator memenuhi kriteria kelayakan.

Analisis Sensitivitas Finansial

Berdasarkan dua skenario yang ditetapkan, hasil analisis sensitivitas finansial PLTA Kumbih-3 adalah sebagai berikut:

1. Analisis Skenario *Low*.

Skenario ini faktor kapasitas menurun 20% dari nilai CF skenario *moderate* menjadi 42,47% sehingga listrik yang dapat di produksi 153.198 MWh/tahun. Selanjutnya dapat ditentukan nilai *net cash flow*, *present value cash inflow*, *present value cash outflow*, *net present value* dan *payback period*. Pada skenario faktor kapasitas sebesar 42,47%, hasil evaluasi menunjukkan bahwa proyek PLTA Kumbih-3 tidak layak secara finansial. Seluruh indikator tidak memenuhi kriteria kelayakan.

2. Analisis Skenario *High*.

Skenario ini faktor kapasitas meningkat 20% dari nilai CF skenario *moderate* menjadi 82,47% sehingga listrik yang dapat di produksi 297.486 MWh/tahun. Pada skenario faktor kapasitas sebesar 82,47%, hasil evaluasi menunjukkan bahwa proyek PLTA Kumbih-3 layak secara finansial. Seluruh indikator memenuhi kriteria kelayakan.

3. Skenario Debit Historis 1

Skenario ini merupakan kapasitas pembangkit yang dipengaruhi oleh debit air di mana debit air yang dijadikan acuan kapasitas yang dibangkitkan oleh PLTA berdasarkan pendekatan nilai debit air historis. Debit air yang digunakan adalah debit air rata rata bulan Agustus yaitu 11,62 m³/s sehingga PLTA Kumbih hanya dapat produksi daya sebesar 16,6 MW. Selanjutnya dapat ditentukan nilai *present value cash inflow*, *present value cash outflow*, *NPV* dan *payback period*. Pada skenario ini, hasil evaluasi menunjukkan bahwa proyek PLTA Kumbih-3 tidak layak secara finansial. Seluruh indikator tidak memenuhi kriteria kelayakan.

4. Analisis Skenario Debit Historis 2

Skenario ini merupakan kapasitas pembangkit yang dipengaruhi oleh debit air di mana debit air yang dijadikan acuan kapasitas yang dibangkitkan oleh PLTA berdasarkan pendekatan nilai debit air historis. Debit air yang digunakan adalah debit air rata rata yaitu 21,56 m³/s sehingga PLTA Kumbih hanya dapat produksi daya sebesar 30,8 MW. Selanjutnya dapat ditentukan nilai *present value cash inflow*, *present value cash outflow*, *NPV* dan *payback period*. Pada skenario ini, hasil evaluasi menunjukkan bahwa proyek PLTA Kumbih-3 layak secara finansial. Seluruh indikator memenuhi kriteria kelayakan.

Validasi Risiko oleh Ahli

Hasil wawancara ahli mengungkap tiga temuan kritis:

1. Manager PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Proyek 4 menyoroti adanya tren penurunan curah hujan di wilayah Aceh sebesar 5% per dekade, yang berpotensi menurunkan debit air sungai dan berdampak langsung pada kapasitas pembangkitan energi PLTA. Dalam menghadapi ancaman kekeringan ekstrem, beliau merekomendasikan pembangunan kolam tando (*pondage*) penampung dengan kapasitas minimal 2 juta meter kubik untuk menjamin keberlanjutan operasional dan memastikan bahwa *capacity factor* (CF) dapat dipertahankan minimal di angka 62,47%, bahkan dalam kondisi iklim ekstrem sekalipun.

- Rekomendasi ini merupakan respons terhadap risiko hidro-klimatik jangka panjang akibat perubahan iklim.
2. Manager Senior Bidang Perencanaan PT PLN (Persero) Unit Induk Pembangunan Sumatera Bagian menekankan pentingnya pengelolaan risiko biaya dalam proyek infrastruktur berskala besar seperti PLTA. Beliau merekomendasikan penerapan kontrak EPC dengan skema *fixed-price* yang dilengkapi dengan klausul *force majeure*, untuk mencegah lonjakan biaya akibat ketidakpastian pasar atau kejadian di luar kendali seperti bencana alam dan krisis geopolitik. Menurutnya, tanpa pengendalian yang baik, biaya proyek dapat melonjak hingga lebih dari 15%, yang akan membahayakan kelayakan finansial secara keseluruhan.
 3. Manajer risiko proyek memberikan perspektif strategis dari sisi pendanaan. Beliau mengonfirmasi bahwa proyek PLTA Kumbih-3 berpotensi memenuhi syarat sebagai proyek berkelanjutan yang dapat memanfaatkan insentif fisikal pemerintah, seperti *tax holiday* atau pengurangan pajak penghasilan badan untuk proyek energi terbarukan. Dengan memanfaatkan fasilitas pajak ini, beban kewajiban pajak Perusahaan dapat berkurang secara signifikan, sehingga meningkatkan arus kas bersih proyek. Selain itu, penghematan pajak yang diperoleh selama masa insentif dapat dialokasikan untuk membiayai komponen teknologi yang lebih efisien atau memperkuat infrastruktur pendukung, yang pada akhirnya meningkatkan faktor kapasitas pembangkit. Secara keseluruhan, kombinasi antara pengurangan pajak dan dukungan regulasi dapat memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan *Net Present Value* serta mengurangi risiko finansial jangka panjang proyek.

Pembahasan

Integrasi Kelayakan Teknis – Finansial dan Strategi Mitigasi Risiko

Hasil analisis menunjukkan bahwa kelayakan teknis PLTA Kumbih-3 didukung oleh tiga pilar utama:

1. Stabilitas Sistem Kelistrikan Aceh
 - a. *Load factor* rata-rata 68,8% (2020) mencerminkan kebutuhan pembangkit fleksibel. PLTA berperan sebagai *load follower* yang stabil, mengurangi ketergantungan pada PLTD selama beban puncak.
 - b. Defisit proyeksi 189 MW (2030) dapat teratasi 23.8% oleh PLTA Kumbih-3, sekaligus mendukung target 23% EBT nasional.
2. Keandalan Hidrologi:
 - a. Debit tahunan 31.5m³/s (variasi bulanan 11.62–34.77 m³/s) termasuk memadai untuk PLTA 45 MW. Namun, debit Agustus (11.62 m³/s) hanya mencakup 54% kebutuhan turbin pada kapasitas penuh.
 - b. Curah hujan "sangat tinggi" (2.765–2.931 mm/tahun) di Subulussalam dan Pakpak Bharat menjadi *buffer* alami, meski memerlukan kolam tando (*pondage*) untuk antisipasi musim kemarau.
3. Inovasi Desain Turbin:

Penggunaan turbin Francis *variable speed* mengoptimalkan efisiensi pada rentang debit 8–35 m³/s. Operasi parsial 15 MW saat debit rendah mempertahankan *capacity factor* \geq 62,47%.

Pembahasan Perbandingan Skenario Low, Moderate dan High

Pada analisa sensitivitas terhadap faktor kapasitas ada 3 skenario, sehingga dilakukan perbandingan pada skenario tersebut. Namun, analisis sensitivitas mengungkap kerentanan utama yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Skenario *Low*, *Moderate* dan *High*

Parameter	Skenario Low	Skenario Moderate	Skenario High
<i>Capacity factor</i>	42,47%	62,47%	82,47%
Biaya Investasi (dalam jutaan)	Rp. 1.782.325	Rp. 1.782.325	Rp. 1.782.325
NPV (dalam jutaan)	-Rp. 437.658	Rp. 251.352	Rp. 940.363
IRR	7,74%	11,15%	13,95%
BCR	0,75	1,14	1,53
Payback Period	> lifetime (33 tahun)	23 Tahun	15 Tahun
Net MW dalam 1 tahun	153.198	225.342	297.486

1. Skenario *Low*

Pada skenario ini menunjukkan operasi yang tidak optimal dan tidak layak secara keekonomian seperti NPV negatif, BCR <1 dan IRR < *cost of capital*. Skenario ini merupakan kondisi curah hujan yang mengalami penurunan 5%/dekade dan debit air yang minimum (bulan Agustus) yang mengakibatkan pengurangan produksi energi.

2. Skenario *Moderate*

Untuk skenario ini seluruh indikator memenuhi kriteria, di mana pada skenario ini adalah skenario yang paling mendekati kondisi aktual dan mempresentasikan kondisi operasional realistik di lokasi.

3. Skenario *High*

Pada skenario ini seluruh indikator memenuhi kriteria dengan nilai NPV tertinggi, BCR tertinggi dan PP tercepat. Kondisi pada skenario ini merupakan kondisi ideal di mana curah hujan dan elevasi air yang tinggi.

4. Hirarki Skenario

Dari sisi teknis PLTA Kumbih layak untuk dibangun tetapi dari sisi finansial dapat diurutkan hirarki skenario 1 – 3 sebagai berikut:

- Skenario *High* (CF 82,47%) → merupakan performa paling optimal dan sangat layak dari semua sisi.
- Skenario *Moderate* (CF 62,47%) → menunjukkan performa masih tetap optimal dan sangat layak dari semua sisi dan didukung dengan debit air rata – rata di lokasi site.
- Skenario *Low* (CF 42,47) → menunjukkan operasi yang tidak optimal, dan tidak layak secara finansial.

Pembahasan Perbandingan Skenario Debit 1 dan 2

Tabel 3. Perbandingan Skenario Debit 1 dan 2

Parameter	Skenario Debit 1	Skenario Debit 2
Debit Air	11,62 m ³ /s	21,56 m ³ /s
Biaya Investasi (dalam jutaan)	Rp. 1.782.325	Rp. 1.782.325
NPV (dalam jutaan)	-Rp. 629.931	Rp. 457.175
IRR	6,60%	12,04%
BCR	0,65	1,26
Payback Period	> lifetime (33 tahun)	19 tahun
Net MW dalam 1 tahun	153.198	246.893

1. Skenario Debit 1

Pada skenario ini menunjukkan operasi yang tidak optimal dikarenakan adanya penurunan debit air yang cukup signifikan sehingga secara keekonomian seperti NPV negatif, BCR <1 dan IRR < *cost of capital*. Skenario ini merupakan kondisi curah hujan yang mengalami penurunan 5%/dekade dan debit air yang minimum (bulan Agustus) yang mengakibatkan pengurangan produksi energi.

2. Skenario Debit 2

Untuk skenario ini seluruh indikator memenuhi kriteria, di mana pada skenario ini adalah skenario yang paling mendekati kondisi aktual dan mempresentasikan kondisi operasional realistik di lokasi. Skenario ini merupakan adanya kondisi pendangkalan sungai tetapi secara keekonomian masih masuk dalam kategori layak.

3. Hirarki Skenario.

Dari sisi asumsi debit air maka dapat diurutkan hirarki skenario debit 1 dan 2 sebagai berikut:

- a. Skenario Debit 2 ($21,56 \text{ m}^3/\text{s}$) → merupakan performa masih tetap optimal dan layak dari semua sisi.
- b. Skenario *Moderate* ($11,62 \text{ m}^3/\text{s}$) → menunjukkan operasi yang tidak optimal, dan tidak layak secara finansial.

Risiko

1. Risiko Hidro-Klimatik

Berdasarkan data BMKG (2025), curah hujan di Aceh menurun sekitar 5% per dekade. Selain itu, debit minimum pada bulan Agustus hanya $11,62 \text{ m}^3/\text{s}$ —baru mencukupi 37% dari kebutuhan turbin. Kondisi ini mengancam keberlangsungan operasional pembangkit.

2. Risiko Eskalasi Biaya Konstruksi

Sumber risiko berasal dari ketergantungan impor komponen turbin yang rentan terhadap fluktuasi nilai tukar dan gangguan logistik.

Mitigasi Risiko

1. Risiko Hidro-Klimatik

Pembangunan kolam tando (*pondage*) dengan kapasitas tampung sebesar 2 juta meter kubik dirancang untuk menjamin ketersediaan debit air minimum secara berkelanjutan sepanjang tahun, khususnya selama musim kemarau atau periode debit rendah. Dengan adanya cadangan air yang cukup, pembangkit dapat tetap beroperasi meskipun terjadi penurunan aliran sungai, sehingga membantu menjaga stabilitas operasi dan mempertahankan nilai *capacity factor* (CF) minimal di atas 62,47%. Upaya ini menjadi salah satu strategi penting dalam mengurangi risiko hidro-klimatik dan memastikan kontinuitas produksi energi listrik dari PLTA Kumbih-3.

2. Eskalasi Biaya Konstruksi

Penerapan kontrak EPC (*Engineering, Procurement, and Construction*) dengan skema harga tetap (*fixed-price*) serta disertai klausul pembatasan eskalasi maksimal sebesar 5% menjadi strategi utama untuk mengendalikan potensi lonjakan biaya yang tidak terduga selama fase konstruksi. Dengan skema ini, tanggung jawab atas desain, pengadaan, dan pelaksanaan konstruksi berada di bawah satu kontraktor utama, sehingga meminimalkan risiko fragmentasi pelaksanaan proyek. Skema *fixed-price* memberikan kepastian biaya bagi pemilik proyek, sementara batas eskalasi maksimal sebesar 5% berfungsi sebagai pengaman terhadap kemungkinan kenaikan harga bahan bangunan, peralatan, atau biaya tenaga kerja selama masa pembangunan. Pendekatan ini penting untuk menjaga stabilitas anggaran proyek dan mencegah pembengkakan biaya yang dapat berdampak negatif terhadap kelayakan finansial PLTA Kumbih-3.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan analisis komprehensif kajian teknis dan finansial proyek PLTA Kumbih-3 dapat disimpulkan:

1. Kapasitas Optimal yang Dapat Dibangun PLTA Kumbih Aceh.

Proyek layak dengan kapasitas optimal 45 MW, didukung debit air 31.5 m³/s, *head* 177 m, curah hujan yang tinggi dan desain turbin Francis *variable-speed* yang efisien pada rentang debit 8–35 m³/s.

2. Faktor Kapasitas Optimal Pengoperasian PLTA Kumbih Aceh.

Faktor kapasitas optimal pada PLTA Kumbih Aceh adalah 62,47% berdasarkan data rata – rata faktor kapasitas Sumatera dan *Load factor* yang tinggi pada sistem pengguna listrik menunjukkan konsumsi beban yang relatif stabil. Hal ini memungkinkan pembangkit seperti PLTA untuk beroperasi secara lebih konstan, yang berdampak pada peningkatan faktor kapasitas. Sebaliknya, jika *load factor* rendah (beban puncak tinggi tapi durasinya pendek), maka pembangkit berpotensi *idle* pada banyak waktu dan kapasitas terpasang tidak termanfaatkan secara optimal.

3. Kelayakan Finansial

Dengan melakukan simulasi finansial dengan 3 skenario terkait kapasitas faktor dan 2 skenario terkait debit air, sehingga minimal kondisi yang dapat diterima atau layak dari kedua sisi yaitu:

- a. Dari sisi kapasitas faktor, skenario *moderate* masih layak dijalankan karena skenario ini merupakan yang paling realistik dan menghasilkan *Net Present Value* positif (Rp. 426.647 juta), *Cost Benefit Ratio* lebih besar dari pada 1 (1,26), *Internal Rate of Return* lebih besar dari *cost of capital* (12,10%) dan *Payback Period* 19 Tahun 9 bulan.
- b. Dari sisi debit air, skenario debit 2 layak dijalankan dengan hasil NPV positif (Rp. 457.175 juta), CBR lebih besar dari 1 (1,26), IRR lebih besar dari *cost of capital* (12,04%) dan PP 19 Tahun.

REFERENSI

- Alamsyah, F., Notosudjono, D., & Soebagia, H. (2017). STUDI KINERJA GENERATOR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR. *STUDI KINERJA GENERATOR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR*.
- Arinaldo, D., & Pujantro, M. (2019). *Levelized Cost of Electricity di Indonesia Saat Ini*. Jakarta: IESR.
- Assagaf, A. (2009). Investment Analysis Which Relevance Measurement for Government Company (BUMN) - Case Coal Power Generation.
- BMKG. (2021). *Peta Rata - Rata Curah Hujan dan Hari Hujan Periode 1991 - 2020 Indonesia*. BMKG.
- BPS. (2025, Januari 2). Berita Resmi Statistik. *Perkembangan Indeks Harga Konsumen Desember 2024*.
- Brigham, E. F., & Ehrhardt, M. C. (2008). *Financial Management*. Thomson Learning. Inc.
- EBTKE. (2021, Januari 31). *EBTKE*. Retrieved from https://p3tkebt.esdm.go.id: https://p3tkebt.esdm.go.id/pilot-plan-project/energi_hidro/peta-potensi-energi-hidro-indonesia-2020
- ESDM. (2017). *RUEN*. Kementerian.
- Faizatul Hasanah Z Day, M. G., & Iwa Garniwa Mulyana K. (2024). Techno-Economic Optimization Study of Renewable Energy Planning in Buru Island Electricity System. *International Journal of Electrical, Computer and Biomedical Engineering*.
- Febrian, H. G., Supriyanto, A., & Purwanto, H. (2022). Calculating the energy capacity and capacity factor of floating photovoltaic (FPV) power plant in the cirata reservoir using different types of solar panels. *Journal of Physics*, 3.
- Gallagher, K. P., Griffith-Jones, S., & Ocampo, J. A. (2012). *Regulating Global Capital Flows for Long-Run Development*. Boston University.
- Gallo, A. (2014). A Refresher on Net Present Value.
- Garrison, R. H. (2007). Akutansi Manajerial. *Jurnal Kewirausahaan dan Manajemen Bisnis*.

- Hannah Ritchie, P. R. (2025). *Our World in Data*. Retrieved from ourworldindata.org: <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>
- Hayes, A. (2024, Juni 4). *Benefit-Cost Ratio (BCR): Definition, Formula, and Example*. Retrieved from [https://www.investopedia.com/terms/b/bcr.asp#:~:text=The%20benefit%2Dcost%20ratio%20\(BCR\)%20is%20used%20in%20a,a%20firm%20and%20its%20investors](https://www.investopedia.com/terms/b/bcr.asp#:~:text=The%20benefit%2Dcost%20ratio%20(BCR)%20is%20used%20in%20a,a%20firm%20and%20its%20investors).
- IEA. (2021). www.iea.org/weo. Retrieved from www.iea.org/weo:https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf
- IRENA. (2020). *Renewable Solution for Transport and Industry*. International Renewable Energy Agency.
- Kasmir, J. (2017). *Studi Kelayakan Bisnis Edisi Revisi*.
- KESDM, P. (2014, Juli 2). Kebijakan Pengembangan Tenaga Air. p. 1.
- Khare, V., Jain, A., & Bhuiyan, M. A. (2023). Assessment of hydro energy potential from rain fall data set in India. *ELSEVIER*.
- Kusuma, P. T., & Mayasti, N. K. (2014). ANALISA KELAYAKAN FINANSIAL PENGEMBANGAN USAHA PRODUKSI.
- Mellichamp, D. A. (2017). *Internal rate of return: Good and bad features, and a new way of interpreting the historic measure*, 396-406.
- Muslim, J., Ikhsan, R., Arifin, Z., & Reza, A. M. (2024). Technoeconomic Analysis on The Development of The Development of Solar-Wind Hybrid Power Plant in Komodo Island. *IEEE International Conference on Power and Energy (PECon)*.
- Ostry, J. D., Ghosh, A. R., Habermeir, K., Chamon, M., Qureshi, M. S., & Reinhardt, D. B. (2010). Capital Inflows: The Role of Controls. *International Monetary Fund*.
- P.H. Gutierrez, N. D. (n.d.). *Colorado State University*. Retrieved from extention.colostate.edu: <https://www.extension.colostate.edu/docs/pubs/farmmgt/03759.pdf>
- PLN. (2025, Juni). Statistics PLN 2024. p. 71.
- PT PLN Persero. (2021-2030). *RUPTL*. Menteri ESDM.
- R.C. Mishra, T. S. (2005). Modern Project Management. In *Modern Project Management* (p. 35). New Age International.
- Rahayu, L. N., & Windarta, J. (2022). *Tinjauan Potensi dan Kebijakan Pengembangan PLTA* .
- Rahmat, A., Arifin, Z., & Utami, D. (2024). Techno-Economic Analysis & Environmental Evaluation of Hybrid Energy Sistem: Study Case Menui Island, Central Sulawesi. *International Conference on Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE)*.
- Ranasinghe, M. (2012). Dr. Extended benefit-cost analysis: quantifying some environmental impacts in a hydropower project.
- Sherly. (2023, Desember 7). *The Huge Potential of Hydroelectric Power Plants to Produce Clean Energy*. Retrieved from <https://www.ui.ac.id/en/the-huge-potential-of-hydroelectric-power-plants-to-produce-clean-energy/>.
- Taufiqurrahman, A., & Windarta, J. (2020). *Overview Potensi dan Perkembangan Pemanfaatan Energi Air* .
- Tri Wahyu Adi. (2025). *Ekonomi & Bisnis Perusahaan Listrik- Strategi, Inovasi dan Keberlanjutan*.