Jurnal Teknik Indonesia

Volume 5 Nomor 3 September 2026
https://jti.publicascientificsolution.com/index.php/rp

Analisis dan Optimasi Design PLTS di *Hydrogen Plant*: Studi Kasus PLTU Banten 1 Suralaya

Aditia Setiaputra*, Marwan Rosyadi
Institut Teknologi Perusahaan Listrik Negara, Indonesia
Email: aditia2410728@itpln.ac.id*, marwanrosyadi@itpln.ac.id

Keywords :

Green Hydrogen; Solar Power Plant; Battery Energy Storage System; Analytical Hierarchy Process; Net Present Value

Abstract

The Indonesian government targets achieving Net Zero Emission (NZE) by 2060, driving PT PLN (Persero) to commit to developing electricity systems based on New and Renewable Energy (NRE) and building a green hydrogen ecosystem in Indonesia. This research aims to analyze and optimize the design of additional solar power plant at PLTU Banten 1 Suralaya and evaluate its techno-economic feasibility to meet electricity demand for green hydrogen production. The methods employed include Monte Carlo simulation to project energy deficits, PVSyst 8.0.6 modeling for PLTS design, Analytical Hierarchy Process (AHP) for optimal site selection based on 4 criteria and 4 location alternatives, and techno-economic analysis covering Initial Investment Cost, Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Payback Period. The results show that the existing PLTS generates 37,145 MWh per year, while the electrolyzer energy demand reaches 178,681 MWh per year, with a daily deficit of 383–387 kWh based on Monte Carlo simulation. The Maintenance Workshop area was selected as the optimal location with a weight of 45.0% and CR of 5.0%. PVSyst simulation indicates that the additional PLTS at this location produces 120.04 MWh per year, enabling the electrolyzer to be fully supplied by renewable energy from 09.00 AM to 03.00 PM, although surplus energy occurs during these hours without BESS integration. Economic analysis demonstrates project feasibility with an Initial Investment Cost of USD 38,704, NPV of USD 4,077, IRR of 11.54%, and Payback Period of 7 years. This study recommends the addition of BESS to optimize solar energy utilization throughout the day and provides technical, policy, and further research recommendations for stakeholders in supporting green hydrogen development in Indonesia.

Kata Kunci:

Green Hydrogen; Pembangkit Listrik Tenaga Surya; *Battery Energy Storage System; Analytical Hierarchy Process; Net Present Value*

Abstrak

Pemerintah Indonesia menargetkan pencapaian *Net Zero Emission* (NZE) pada tahun 2060, yang mendorong PT PLN (Persero) berkomitmen mengembangkan sistem ketenagalistrikan berbasis Energi Baru Terbarukan (EBT) serta membangun ekosistem hidrogen hijau di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengoptimasi desain penambahan PLTS di PLTU Banten 1 Suralaya serta mengevaluasi kelayakan ekonomi-teknisnya guna memenuhi kebutuhan energi listrik untuk produksi hidrogen hijau. Metode yang digunakan meliputi simulasi Monte Carlo untuk memproyeksikan defisit energi, pemodelan desain PLTS dengan PVSyst 8.0.6, pemilihan lokasi optimal menggunakan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) berdasarkan 4 kriteria dan 4 alternatif

lokasi, serta analisis ekonomi-teknik mencakup Biaya Investasi Awal, *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Payback Period*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PLTS eksisting menghasilkan 37,145 MWh per tahun, sedangkan kebutuhan energi electrolyzer mencapai 178,681 MWh per tahun, dengan defisit harian 383–387 kWh berdasarkan simulasi Monte Carlo. Lokasi Workshop Pemeliharaan terpilih sebagai lokasi optimal dengan bobot 45,0% dan CR 5,0%. Simulasi PVSyst menunjukkan penambahan PLTS di lokasi tersebut menghasilkan 120,04 MWh per tahun, sehingga kebutuhan electrolyzer dapat terpenuhi penuh dari energi terbarukan pada jam 09.00–15.00, namun terjadi surplus energi yang tidak termanfaatkan tanpa BESS. Analisis ekonomi menunjukkan kelayakan proyek dengan Biaya Investasi Awal USD 38.704, NPV USD 4.077, IRR 11,54%, dan Payback Period 7 tahun. Penelitian ini merekomendasikan penambahan BESS untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi surya sepanjang hari, serta memberikan saran teknis, kebijakan, dan penelitian lanjutan bagi berbagai pemangku kepentingan dalam mendukung pengembangan green hydrogen di Indonesia.

PENDAHULUAN

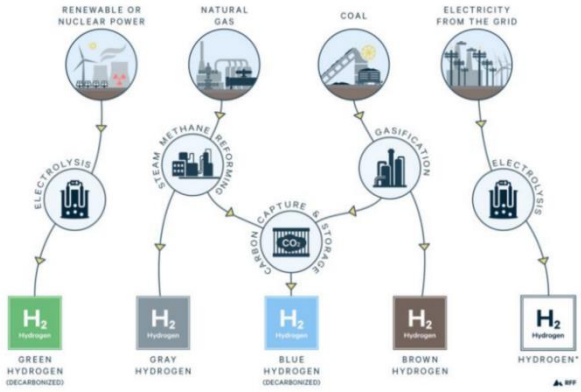
Sektor ketenagalistrikan menjadi salah satu sektor penting pada suatu negara. Ketahanan energi untuk sumber energi ketenagalistrikan menjadi fokus saat ini. Pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan ekonomi terus meningkat setiap tahun di seluruh dunia, sehingga menjadikan pertumbuhan tingkat kebutuhan akan tenaga listrik. Sedangkan jumlah energi fosil dari tahun ke tahun semakin berkurang dan memiliki dampak yang negatif bagi lingkungan terutama iklim. Salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan energi dunia dan mengurangi pencemaran lingkungan adalah dengan mengganti energi fosil ke energi baru terbarukan (Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi, 2024).

Pemerintah Republik Indonesia melalui PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) berkomitmen untuk mengembangkan sistem ketenagalistrikan di masa depan terutama di sisi pemangkitan energi listrik, akan mengarah kepada pengembangan pembangkit dengan teknologi yang rendah emisi dan ramah lingkungan. Dengan adanya komitmen transisi energi, konsep konvensional pengembangan pembangkit energi listrik yang sebelumnya terfokus hanya pada dua pilar yaitu *affordability* (keterjangkauan biaya pembangkit) dan *security of supply* (keandalan sistem), menjadi fokus pada tiga pilar dengan menambahkan kriteria Environmental (rendah emisi, berdampak positif bagi lingkungan). PLN telah melakukan simulasi Skenario NZE 2060 dengan prinsip *least cost optimization*. Capital expenditure (capex) untuk VRE, khususnya PLTS dan PLTB, diperkirakan akan mengalami penurunan yang cukup signifikan di masa mendatang dibandingkan harga saat ini (PLN [Persero], 2025).

Selain pengembangan pembangkit listrik berbasis renewable energy, PT PLN (Persero) berupaya untuk berinovasi dalam pembangunan ekosistem hydrogen di Indonesia secara end to end. PT PLN (Persero) membangun *Hydrogen Refueling Station* (HRS) atau stasiun pengisian kendaraan hidrogen. Hidrogen merupakan langkah strategis dalam transisi energi karena kendaraan berbasis hidrogen dianggap tidak mengeluarkan

emisi. Pengembangan kendaraan hidrogen diharapkan dapat berkontribusi untuk mengurangi impor BBM sebesar 1,59 juta liter/tahun dan ditargetkan dapat menurunkan emisi CO2 sebesar 4,15 juta Kg/tahun dengan asumsi 1 liter bbm RON 92 setara dengan 2,6 kg emisi CO2. Hidrogen merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan yang cocok untuk bahan bakar pada direct combustion atau digunakan pada fuel cells (Klebanoff et al., 2021). Hidrogen dapat dihasilkan dari berbagai macam teknologi dan material dasar yang digunakan dalam proses produksinya (Krupnick, 2020). Berbagai proses produksi hidrogen dapat dilihat pada Gambar 1.2. Saat ini 95% hidrogen diproduksi dengan bahan bakar batubara. Sehingga dapat disebut hidrogen "abu-abu". Ketika telah digunakan teknologi seperti *Carbon Capture* dalam proses konversi bahan bakar fossil maka dapat disebut hidrogen "Biru". Hidrogen "Hijau", dianggap sebagai proses produksi hidrogen yang paling ramah lingkungan karena menggunakan *Renewable Energy Sources* (RES) dalam proses produksinya.

PT PLN (Persero) memiliki 22 *hydrogen plant*, terdiri dari 21 *green hydrogen plant* dengan produksi 199 Ton/tahun yang menggunakan sumber tenaga listrik dari Solar PV dan 1 *green hydrogen* plant di PLTP Kamojang yang menghasilkan 4 Ton /tahun. Total produksi hidrogen sebesar 203 Ton/tahun. Dimana 75 Ton/tahun digunakan untuk kebutuhan pada pendingin generator dan 128 Ton/tahun digunakan untuk pengisian mobil hidrogen. Untuk mendukung hidrogen hijau maka untuk proses produksi pada hidrogen plant ditargetkan dapat menggunakan sumber tenaga listrik dari EBT dan tidak lagi menggunakan sumber tenaga listrik dari PLTU berbahan bakar batubara (Ambabunga et al., 2026; Darmawan & Sebastian, 2025; A. Maulana, 2025; Setiawan et al., 2025). Hidrogen hijau murni milik PT PLN (Persero) baru tersedia satu unit yaitu milik PLTP Kamojang dimana proses produksi dalam hydrogen plant menggunakan listrik yang dihasilkan dari panas bumi.



Gambar 1. Teknologi untuk Produksi Hidrogen.
Sumber: **[4]**

PLTU Banten 1 Suralaya, merupakan salah satu dari Unit Bisnis Pembangkitan (UBP) dari PLN Subholding. Berlokasi di Cilegon, PLTU Banten 1 Suralaya memiliki kapasitas 1x625 MW. UBP Banten 1 Suralaya memiliki sebuah *hydrogen plant* untuk memproduksi hidrogen yang digunakan sehari-hari untuk kebutuhan pendingin generator. Hidrogen yang dihasilkan disimpan dalam vessel dan dilakukan injeksi pada sistem

pendingin generator sesuai kebutuhan. PLTU Banten 1 Suralaya berencana untuk berkontribusi dalam pengembangan ekosistem kendaraan listrik berbahan bakar hidrogen dengan rencana produksi sebesar 0,2 Ton/tahun. Agar tercipta ekosistem hidrogen hijau, sumber tenaga listrik yang digunakan untuk proses produksi direncanakan menggunakan sistem *hybrid*. Sumber tenaga listrik disuplai dari energi surya saat sumber cahaya matahari melimpah dan akan disuplai dari *Unit Auxiliarry Transformer* (UAT) dimalam hari atau saat panel surya tidak berproduksi (R. Maulana & Bangsa, 2023; Patoding & Sau, 2020; Rauf, 2023).

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas optimalisasi sistem PLTS untuk produksi hidrogen hijau. Abdelkareem et al. (2023) mengkaji berbagai tantangan dan kemajuan terkini dalam sistem PLTS yang dioptimalkan untuk produksi hidrogen hijau, termasuk aspek teknis dan ekonomi. Li et al. (2023) menyoroti inovasi terbaru dalam produksi hidrogen hijau serta kendala yang dihadapi, seperti efisiensi elektrolisis dan biaya investasi. Di sisi lain, penelitian tentang pemilihan lokasi PLTS dengan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) telah banyak diterapkan dalam konteks perencanaan energi, namun masih jarang dikombinasikan dengan simulasi teknis dan analisis ekonomi untuk kasus spesifik di lingkungan pembangkit listrik termal (Afqah & Ardhiyanto, 2025; Fahruddin, 2021; Marini, 2018).

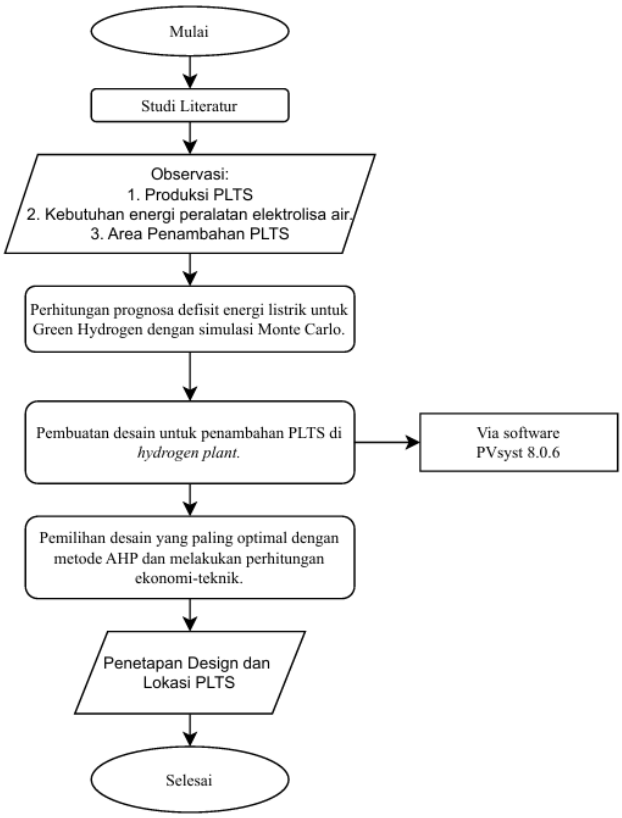
Penelitian ini berbeda karena mengintegrasikan beberapa pendekatan sekaligus, yaitu: (1) simulasi Monte Carlo untuk memproyeksikan defisit energi, (2) pemodelan desain PLTS menggunakan PVSyst 8.0.6, (3) pemilihan lokasi optimal dengan metode AHP, dan (4) analisis kelayakan ekonomi-teknis (NPV, IRR, Payback Period). Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi komprehensif bagi perencanaan green hydrogen di PLTU Banten 1 Suralaya dan dapat menjadi model referensi bagi unit pembangkit lain yang memiliki tantangan serupa.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengoptimasi design dari PLTS serta melakukan analisis ekonomi teknik untuk penambahan PLTS di area PLTU Banten 1 Suralaya. Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat teoretis dan praktis. Secara teoretis, hasil penelitian dapat memperkaya literatur tentang optimalisasi PLTS untuk produksi hidrogen hijau serta menjadi referensi metodologis bagi penelitian sejenis. Secara praktis, penelitian ini memberikan rekomendasi desain teknis dan lokasi optimal penambahan PLTS beserta analisis kelayakan ekonomi yang dapat digunakan PT PLN (Persero) sebagai dasar pengambilan keputusan investasi di PLTU Banten 1 Suralaya sekaligus menjadi model yang dapat direplikasi di unit pembangkit lain. Selain itu, keberhasilan produksi hidrogen hijau turut mendukung upaya pengurangan emisi karbon dan peningkatan kualitas lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain studi kasus di PLTU Banten 1 Suralaya, Cilegon, yang dilengkapi dengan hydrogen plant untuk pendingin generator. Pengumpulan data dilakukan pada periode April 2025–Maret 2026, menghasilkan 342 hari data efektif. Data primer diperoleh dari observasi lapangan untuk

mengukur dimensi empat lokasi calon PLTS (Workshop Pemeliharaan, Rooftop Boiler, Outfall, dan Gedung Administrasi Pemeliharaan) serta wawancara dengan dua orang expert untuk penilaian AHP. Data sekunder meliputi produksi PLTS eksisting dari metering system, konsumsi listrik electrolyzer dari log sheet operasi, data potensi surya dari NASA-SSE, serta data biaya dan ekonomi dari PLN dan BPS.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Sumber: Dokumentasi peneliti, 2026

Tahapan I Observasi

Pengumpulan data di lokasi penelitian. Pengambilan data produksi listrik dari PLTS yang terpasang saat ini dan kebutuhan energi listrik untuk suplai peralatan elektrolisa air di Hydrogen Plant. Dilakukan juga survei lokasi untuk penambahan PLTS.

Tahapan II Pemodelan Defisit Energi Listrik dengan Monte Carlo

Data produksi listrik dan data kebutuhan energi listrik dilakukan simulasi dengan metode Monte Carlo untuk mengetahui proyeksi defisist energi listrik untuk mencapai program Green Hydrogen.

Tahapan III Design PLTS Tambahan

Pembuatan design penambahan PLTS dari empat alternatif lokasi yang akan dipilih. Menggunakan bantuan software PVSyst 8.0.6 untuk mengetahui produksi tahunan dari rencana tambahan PLTS.

Tathapan IV Analisa AHP

Pemilihan lokasi yang sesuai berdasarkan 4 kriteria dan 4 alternatif lokasi dari dua orang expert menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP).

Tahapan V Analisa Ekonomi-Teknik

Analisis ekonomi-teknik meliputi biaya Investasi Awal, Net Present Value (NPV), Internal rate of return (IRR), dan Payback Period.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Performa PLTS Terpasang.

Dalam analisis performa dari PLTS dalam penelitian ini, data yang akan dilakukan analisis adalah dalam rentang waktu bulan April 2025 sampai bulan Maret 2026. Dengan 23 hari durasi waktu maintenance bersamaan dengan masa pemeliharaan dari unit pembangkit, sehingga total data dalam penelitian ini didapat 342 hari. Produksi listrik dari PLTS secara bulanan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Produksi Listrik Plts

Bulan	Produksi (KWh)
Apr-25	3496,11
May-25	3537,88
Jun-25	3345,38
Jul-25	3692,04
Aug-25	4008,92
Sep-25	3847,06
Oct-25	3883,49
Nov-25	2881,39
Dec-25	2466,49
Jan-26	2644,01
Feb-26	2624,00
Mar-26	719,22
Total	**37145,99**

Sumber: Data metering system PLTU Banten 1 Suralaya, diolah peneliti (2026)

Sistem Elektrolisa Air di Hydrogen Plant

Perhitungan energi listrik yang diperlukan untuk beban 3 fasa daya nyata pada peralatan elektrolisa air menggunakan persamaan (1)

$$E = \sqrt{3}\, x\, V\ \times I\ \times pf\ x\ t \qquad (1)$$

Dimana:

E = Energi Listrik (WH)
V = Tegangan (Volt)
I = Arus (Ampere)
pf = Faktor Daya
t = Waktu (Jam)

Pada peralatan electrolyzer tidak terdapat peralatan metering yang secara khusus terpasang untuk mengetahui kebutuhan energi listrik, oleh karena itu untuk perhitungan kebutuhan energi listrik dalam penelitian kali ini dilakukan perhitungan secara manual berdasarkan trending arus dan tegangan yang didapat dari data log sheet bidang operasi.

Tabel 2. Konsumsi Enerli Listrik Peralatan Elektrolisa Air

Bulan	Konsumsi Energi Listrik Electrolyzer (KWh)
Apr-25	14533,09
May-25	14891,64
Jun-25	14405,98
Jul-25	14881,31
Aug-25	14882,03
Sep-25	14397,46
Oct-25	14884,97
Nov-25	14396,19
Dec-25	14880,76
Jan-26	14856,81
Feb-26	13431,21
Mar-26	3842,79
Total	**178681,70**

Sumber: Data log sheet operasi PLTU Banten 1 Suralaya, diolah peneliti (2026)

Proyeksi Defisit Pasokan Energi Listrik dari EBT

Untuk mencapai target produksi hidrogen hijau dimana pasokan energi listrik yang digunakan dalam proses produksi hidrogen berasal dari Energi Baru Terbarukan (EBT), maka dalam penelitian ini akan dianalisis kemampuan produksi dari PLTS yang terpasang dibandingkan dengan kebutuhan konsumsi energi listrik untuk peralatan electrolyzer. Untuk menghitung defisit energi, akan digunakan selisih dari kebutuhan konsumsi energi listrik untuk peralatan electrolyzer dikurangi produksi energi listrik dari PLTS seperti pada persamaan (2).

$$Defisit\ Energi = Kebutuhan\ energi\ Electrolyzer - Energi\ PLTS \quad (2)$$

Tabel 3. Defisit Kebutuhan Energi Terbarukan

Bulan	Defisit (KWh)
Apr-25	11036,98
May-25	11353,76
Jun-25	11060,60
Jul-25	11189,27
Aug-25	10873,11
Sep-25	10550,40
Oct-25	11001,48
Nov-25	11514,80
Dec-25	12414,27
Jan-26	12212,80
Feb-26	10807,21
Mar-26	3123,57
Total	**127138,25**

Sumber: Hasil perhitungan peneliti berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2 (2026)

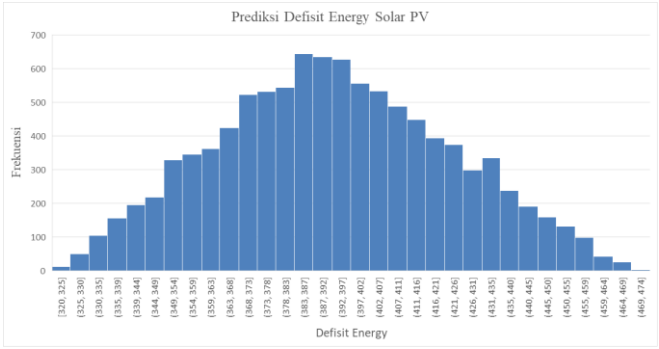
Selanjutnya dilakukan monte carlo untuk pembuatan prognosa defisit kebutuhan energi listrik untuk pengoperasian electrolyzer. Monte Carlo banyak digunakan untuk mengestimasi outputan dari metode stokastik dengan percobaan banyak iterasi (Fum et al., 2021). Parameter utama yang akan digunakan dalam simulasi monte carlo adalah Produksi Listrik dari PLTS (KWh) dan Konsumsi Energi Listrik Electrolyzer (KWh). Percobaan dalam simulasi menggunakan 10000 kali iterasi. Data Set untuk simulasi dan pemodelan monte carlo dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 4. Data Set Pemodelan Monte Carlo

	Produksi Listrik PLTS (KWh)	*Konsumsi Energi Listrik Electrolyzer (KWh)*
Min	11,4	342,66
Mode	92,6	383,68
Max	158,59	400,759
Lower Range	81,2	41,023
Higher Range	65,99	17,079
Total Range	147,19	58,102
Distribusi	Triangular	Triangular

Sumber: Hasil pengolahan data produksi PLTS dan konsumsi electrolyzer, diolah peneliti (2026)

Perangkat lunak yang digunakan untuk simulasi monte carlo menggunakan software Excel. Dari pemodelan didapat proyeksi rata-rata desfisit kekurangan energi listrik dari sumber energi baru terbarukan untuk tercapainya program hidrogen hijau sebesar 392,70 KWh per hari. Frekuensi tertinggi berada pada rentang defisit 383-387 KWh per hari dengan lebih dari 644 kali. Untuk distribusi hasil pemodelan monte carlo dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3: Proyeksi Defisit Hasil Pemodelan Monte Carlo

Sumber: Hasil simulasi Monte Carlo menggunakan Microsoft Excel, diolah peneliti (2026)

Design Penambahan PLTS

Pembuatan design untuk penambahan PLTS di Area PLTU Banten 1 Suralaya menggunakan perangkat lunak Pvsyst 8.0.6. PVSyst merupakan tools yang banyak dipakai untuk menghitung potensi dari energi surya (Raji et al., 2025). Lokasi untuk penambahan panel surya direncanakan ada di empat lokasi. Lokasi dipilih berdasarkan ketersediaan lahan dan ketersediaan akses. Dalam pemilihan rencana lokasi juga harus dipastikan saat dilakukan penambahan solar panel baru di area tersebut, tidak mengganggu kinerja peralatan disekitarnya.

Tabel 5. Alternatif Lokasi Pembangunan PLTS

No	Area	Panjang (m)	Lebar (m)	Luasan (m^2)
1	Workshop Pemeliharaan	25	20	500
2	Rooftop Boiler	38	22	836
3	Outfall	48,8	5,1	248,88
4	Gedung Administrasi Pemeliharaan	15	9	135

Sumber: Hasil survei dan pengukuran lapangan peneliti, 2026

Sebelum dilakukan design penambahan PLTS dilakukan pemetaan dan pengambilan data potensi energi surya di wilayah PLTU Banten 1 Suralaya. Data yang digunakan berasal dari NASA yang terhubung dengan software Pvsyst 8.0.6. Untuk karakteristik dan potensi energi surya disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Data Cuaca di PLTU Banten 1 Suralaya (Sumber: NASA-SSE)

	Global Horizontal Irradiation (GHI)	Horizontal Diffuse Irradiation (HDI)	Temperature
	$KWh/m^2/day$	$KWh/m^2/day$	^0C
Januari	4.85	2.28	25.7
Februari	4.99	2.35	25.7
Maret	5.33	2.27	25.9
April	5.05	2.05	26.3
Mei	4.80	1.82	26.5
Juni	4.58	1.69	26.4
Juli	4.87	1.69	26.2
Agustus	5.40	1.82	26.4
September	5.81	2.01	26.5
Oktober	5.48	2.23	26.5
November	5.01	2.27	26.2
Desember	4.77	2.25	25.9

Sumber: Database NASA-SSE, diakses melalui software PVSyst 8.0.6 (2026)

Hasil simulasi dari software PVSyst 8.0.6, produksi energi listrik untuk empat lokasi yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 7. Produksi Energi ke Grid

	Workshop Pemeliharaan (MWh)	Rooftop Boiler (MWh)	Outfall (MWh)	Administrasi Pemeliharaan (MWh)
Januari	9,62	20,53	6,427	2,831
Februari	9,02	19,81	5,882	2,731
Maret	10,64	24,26	6,668	3,345
April	9,79	23,01	5,806	3,172
Mei	9,73	23,59	5,464	3,252
Juni	9,01	22,22	4,934	3,062
Juli	9,88	24,24	5,465	3,342
Agustus	10,91	26,02	6,282	3,588
September	11,26	25,79	6,842	3,555
Oktober	10,94	24,2	7,003	3,336
November	9,68	20,8	6,457	2,867
Desember	9,55	20,32	6,516	2,801
Total	**120,04**	**274,79**	**73,748**	**37,882**

Sumber: Hasil simulasi PVSyst 8.0.6, diolah peneliti (2026)

Analytical Hierarchy Process (AHP).

Analytical Hierarchy Process (AHP) merupakan metode yang digunakan dalam pengambilan keputusan dari beberapa kriteria dan alternatif (Saaty, 1987). Hasil dari metode Analytical Hierarchy Process (AHP) dalam penentuan kriteria yang dipakai dalam pemilihan lokasi pembangunan PLTS, yang didapat dari dua expert dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Pembobotan Kriteria Pemilihan Lokasi PLTS

Participant	Harga Terendah	Produksi Listrik	Akses Pemeliharaan	Luas Area	CRmax
Expert 1	56,7	23,6	16,1	3,6	8,7
Expert 2	51,9	8,7	32,9	6,5	8,6
Combined	57,2	14,9	23,0	4,9	1,9

Sumber: Hasil wawancara dan perhitungan AHP oleh peneliti berdasarkan penilaian dua orang expert (2026)

Dari hasil pembobotan dan justifikasi dari expert dalam metode AHP seperti tampak pada tabel 4.17, Expert 1 dan Expert 2 sepakat dalam pemilihan lokasi, prioritas pertama dalam pemilihan lokasi penambahan PLTS mengutamakan biaya yang paling rendah dalam pembangunannya, dimana Expert 1 sebesar 56,7% dan Expert 2 sebesar 51,9%. Untuk prioritas kedua dalam pemilihan penambahan lokasi PLTS, Expert 1 lebih

memilih mengutamakan kriteria produksi listrik listrik yang dihasilkan yaitu sebesar 23,6%, sedangkan Expert 2 lebih memilih mengutamakan kriteria Akses Pemeliharaan dengan pembobotan sebesar 32,9%. Pada urutan ketiga dalam pembobotan kriteria, Expert 1 memilih akses pemeliharaan dengan besar bobot 16,1% sedangkan Expert 2 memilih produksi listrik 8,7%. Urutan keempat pada pembobotan kriteria dalam pemilihan lokasi PLTS Expert 1 dan Expert 2 sepakat menempatkan kriteria Luas Area pada prioritas terakhir, dengan Expert 1 sebesar 3,6% dan Expert 2 sebesr 6,5%.

Untuk hasil kombinasi pembobotan dari Expert 1 dan Expert 2, maka didapat Harga Terendah dalam biaya pembangunan sebesar 57,2% dan menjadi prioritas utama dalam kriteria pemilihan lokasi PLTS. Selanjutnya Akses Pemeliharaan memiliki pembobotan 23%, Produksi Listrik sebesar 14,9% dan Luas Area sebesar 4,9%, dengan Consistency Ratio (CR) sebesar 1,9 untuk kombinasi dari Expert 1 dan Expert 2 atau dianggap konsisten dalam pengisian pairwise comparison.

Setelah didapatkan pembobotan terhadap beberapa kriteria, selanjutnya dilakukan pembobotan terhadap beberapa alternatif lokasi yang akan dipilih dalam penelitian kali ini. Hasil pembobotan alternatif lokasi yang didapat dari para expert yang menjadi nara sumber didapatkan hasil seperti nampak pada Tabel 9.

Tabel 9. Pembobotan Alternatif Lokasi Penambahan PLTS

Participant	**Workshop Pemeliharaan**	**Gedung Administrasi Pemeliharaan**	**Outfall**	**Rooftop Boiler**	**Crmax**
Expert 1	38,6	27,5	16,3	17,5	6,8
Expert 2	51,2	26,3	6,2	16,3	8,4
Combined	45,0	27,5	9,9	17,6	5,0

Sumber: Hasil wawancara dan perhitungan AHP oleh peneliti berdasarkan penilaian dua orang expert (2026)

Pembobotan alternatif lokasi secara kombinasi didapatkan nilai pembobotan terbesar untuk alternatif lokasi yaitu di Workshop Pemeliharaan dengan 45%, diikuti oleh Gedung Pemeliharaan sebesar 27,5%, selanjutnya ada Rooftop Boiler sebesar 17,6% dan terakhir ada area Outfall dengan 9,9%. Consistency Ratio (CR) dalam pemilihan alternatif lokasi pada penelitian ini sebesar 5,0. Walaupun Expert 1 dan Expert 2 terdapat perbedaan dalam pembobotan kriteria dari lokasi PLTS, dimana untuk Expert 1 lebih menaruh perhatian lebih pada hasil produksi listrik yang dihasilkan dari PLTS, sedangkan Expert 2 lebih berfokus pada kemudahan akses pemeliharaan, tetapi hasil dari pembobotan alternatif lokasi baik Expert 1 dan Expert 2 tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Dari penerapan metode AHP dalam pemilihan keputusan untuk lokasi pembangunan PLTS untuk tambahan program Green Hydrogen maka akan dipilih Workshop Pemeliharaan sebagai alternatif utama.

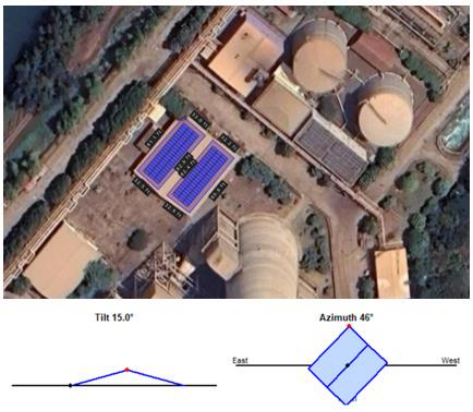
Simulasi Penambahan PLTS Terhadap Kebutuhan Energi Electrolyzer

Lokasi PLTS yang dipilih adalah yang memiliki pembobotan terbesar baik secara kriteria maupun alternatif yang telah dipaparkan dalam bab sebelumnya yaitu Wokrshop Pemeliharaan. Spesifikasi dari PLTS yang akan digunakan dalam penelitian ini ada dalam Tabel 10.

Tabel 10. Spesifikasi Teknik Design PLTS Area Workshop Pemeliharaan

Spesifikasi	**Parameter**
PV Module	Trina Solar
Model	TSM-NEG19RC-570
Unit Nom Power (Wp)	570
Jumlah PV Modul (unit)	132
Nominal standard Test Condition (KWp)	77
Pmpp (KWp)	71.1
U mpp (Volt)	533
I mpp (Ampere)	133
Total Module Area (m2)	527
Inverter Manufacture	Huawei Technologies
Model	SUN2000-25KTL-M5-400V
Unit Nominal Power (Kwac)	25
Jumlah Inverter (Unit)	5
Total Power (KWac)	113
Operating Voltage (Volt)	200-1000
Max Power (KWac)	27,5
Pnom Ratio DC:AC	0,91

Sumber: Hasil simulasi dan konfigurasi PVSyst 8.0.6, diolah peneliti (2026)



Gambar 4. Design dan Rencana Lokasi Pemabngunan PLTS

Sumber: Hasil simulasi PVSyst 8.0.6, dokumentasi peneliti (2026)

Hasil simulasi produksi PLTS diintegrasikan dengan data produksi PLTS yang terpasang saat ini dibandingkan dengan data kebutuhan energi untuk electrolyzer dapat dilihat pada Tabel 11.

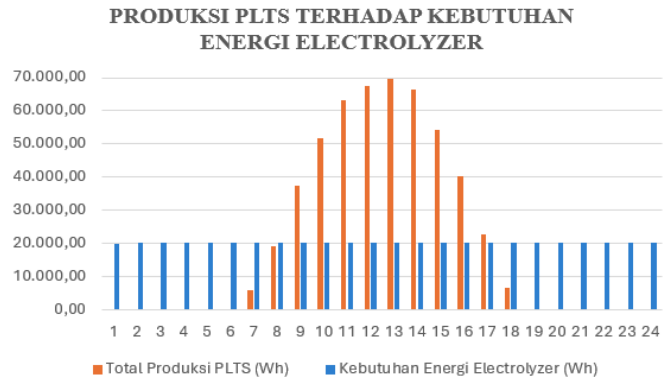
Tabel 11. Total Produksi PLTS Terhadap Kebutuhan Energi Electrolyzer

Jam	Produksi PLTS (Wh)	Simulasi Design PLTS (Wh)	Total Produksi PLTS (Wh)	Kebutuhan Energi Electrolyzer (Wh)
00:00	0,00	0,00	0,00	20.038,23
01:00	0,00	0,00	0,00	20.213,40
02:00	0,00	0,00	0,00	20.239,97
03:00	0,00	0,00	0,00	20.133,33
04:00	0,00	0,00	0,00	20.185,03
05:00	0,00	0,00	0,00	20.203,17
06:00	419,33	5.436,88	5.856,21	20.205,00
07:00	2.948,00	16.109,92	19.057,92	20.181,70
08:00	7.605,67	29.884,06	37.489,73	20.164,87
09:00	10.651,00	41.199,49	51.850,49	20.191,60
10:00	14.153,00	48.953,29	63.106,29	20.140,03
11:00	15.084,67	52.347,06	67.431,73	20.201,67
12:00	16.333,67	53.207,88	69.541,55	20.223,23
13:00	16.439,33	49.844,24	66.283,57	20.183,33
14:00	11.444,33	42.939,42	54.383,75	20.203,13
15:00	7.857,67	32.548,29	40.405,96	20.235,13
16:00	3.579,33	19.126,01	22.705,34	20.215,23
17:00	776,67	5.837,16	6.613,83	20.178,47
18:00	0,00	0,00	0,00	20.173,40
19:00	0,00	0,00	0,00	20.163,27
20:00	0,00	0,00	0,00	20.208,37
21:00	0,00	0,00	0,00	20.168,10
22:00	0,00	0,00	0,00	20.150,10
23:00	0,00	0,00	0,00	20.236,53
Total		**397.433,71**	**504.726,37**	**484.436,30**

Sumber: Hasil integrasi data produksi PLTS eksisting, simulasi PVSyst 8.0.6, dan perhitungan kebutuhan electrolyzer, diolah peneliti (2026)

Dari simulasi didapatkan hasil jika ditambahkan energi listrik yang dipasok dari PLTS area Workshop Pemeliharaan, peralatan produksi hidrogen dapat disuplai penuh dari energi terbarukan pada rentang waktu jam 09:00 – 15:00. Hasil produksi dari PLTS justru berlebih pada rentang waktu tersebut sehingga fenomena yang terjadi adalah inverter akan menahan energi yang akan disuplai ke grid. Jika pembangunan PLTS tidak dilengkapi dengan Battery Energy Storage System (BESS) akan terdapat energi yang tidak termanfaatkan. Hasil produksi total harian PLTS yang terdapat saat ini jika

ditambahkan dengan hasil simulasi pemasangan PLTS baru area Workshop Pemeliharaan didapatkan total sebesar 504,72 KWh. Total kebutuhan energi harian peralatan electrolyzer sebesar 484,43 KWh, sehingga *Green Hydrogen* dapat dicapai jika sudah terintegrasi dengan BESS. Selama BESS belum terpasang, *green hydrogen* hanya dapat dicapai pada rentang waktu jam 09:00 – 15:00. Hal ini juga sesuai dengan simulasi harian dimana menurut hasil simulasi, produksi PLTS sebesar 397,43 KWh sedangkan defisit kebutuhan energi listrik untuk peralatan electrolyzer sesuai prediksi dengan metode monte carlo sebesar 383-387 KWh per hari.



Gambar 5: Simulasi Produksi PLTS Terhadap Kebutuhan Energi Electrolyzer

Sumber: Hasil pengolahan data Tabel 13 menggunakan Microsoft Excel, diolah peneliti (2026)

Analisis Ekonomi – Teknik

Dalam analisis ekonomi-teknik yang dilakukan dalam penelitian kali ini, akan dihitung biaya Investasi Awal, *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate Of Return* (IRR), dan *Payback Period*. Perhitungan analisis ekonomi-teknik dilakukan untuk penambahan PLTS pada Area Workshop Pemeliharaan. Inputan Data Finansial dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Finansial Data Input

Parameter	Nilai	Sumber
Kapasitas PLTS	75,24 KWp	Simulasi PVSyst 8.0.6
Investasi Awal	514 USD/KW	PLN Indonesia Geothermal (PLN I-Geo)
Produksi Energi Tahunan	120,04 MWh	Simulasi PVSyst 8.0.6
Biaya Pokok Produksi	0,058 USD/KWh	Data PLN
Diskonto	10%	Indonesia LCOE by IESR [13]
Inflasi	2,92	Badan Pusat Statistik [14]
Biaya Pemeliharaan	1430 USD /Tahun	Asumsi
Umur PLTS	20 Tahun	Asumsi

Sumber: PLN Indonesia Geothermal (PLN I-Geo), Institute for Essential Services Reform (IESR), Badan Pusat Statistik (BPS), dan asumsi peneliti (2026)

Hasil perhitungan analisis ekonomi-teknik dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Analisis Ekonomi - Teknik

Indikator	Nilai
Biaya Investasi Awal (USD)	38.704
NPV (USD)	4.077
IRR	11,54%
Simple Payback Period (tahun)	7,08

Sumber: Hasil perhitungan peneliti berdasarkan Tabel 14 (2026)

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan: Produksi PLTS yang terpasang saat ini 37,145 MWh. Kebutuhan energi listrik untuk peralatan elektrolisa air sebesar 178,681 MWh. Berdasarkan simulasi Monte Carlo terdapat defisit energi listrik untuk tujuan *Green Hydrogen* sebesar 383-387 KWh per hari. Berdasarkan Analytical Hierarchy Process (AHP), dari 4 kriteria dan 4 alternatif lokasi dipilih area Workshop Pemeliharaan untuk lokasi pembangunan penambahan PLTS. Dari simulasi didapatkan hasil jika ditambahkan energi listrik yang dipasok dari PLTS area Workshop Pemeliharaan, peralatan produksi hidrogen dapat disuplai penuh dari energi terbarukan pada rentang waktu jam 09:00 – 15:00. Hasil produksi dari PLTS justru berlebih pada rentang waktu tersebut sehingga fenomena yang terjadi adalah inverter akan menahan energi yang akan disuplai ke grid. Jika pembangunan PLTS tidak dilengkapi dengan *Battery Energy Storage System* (BESS) akan terdapat energi yang tidak termanfaatkan. Direkomendasikan selain pembangunan PLTS juga ditambahkan BESS. Hasil analisis ekonomi-teknik, didapatkan: Biaya Investasi Awal USD 38.704, *Net Present Value* USD 4.077. *Internal Return Rate* 11,54% dan *Payback Period* selama 7 Tahun.

Berdasarkan kesimpulan tersebut, peneliti menyampaikan beberapa saran. Bagi PT PLN (Persero) khususnya Unit PLTU Banten 1 Suralaya, disarankan untuk segera merealisasikan penambahan PLTS di area Workshop Pemeliharaan dan melengkapinya dengan BESS berkapasitas 150–200 kWh guna menyimpan surplus energi pada jam 09.00–15.00 untuk digunakan pada malam hari, dengan studi lanjutan untuk optimasi kapasitas BESS sebelum implementasi. Tim operasional disarankan mengatur jadwal electrolyzer agar prioritas penggunaan energi terbarukan pada jam 09.00–15.00, melakukan monitoring evaluasi setiap 3 bulan, dan sebelum BESS terpasang, mengoptimalkan surplus energi untuk peralatan non-kritis seperti pompa dan penerangan, serta menyusun SOP dan pelatihan teknisi. Bagi pengambil kebijakan, disarankan menyusun insentif atau skema pendanaan untuk proyek green hydrogen, menetapkan standar desain PLTS untuk hydrogen plant di seluruh unit PLN, dan menjadikan target produksi green hydrogen sebagai indikator kinerja utama. Bagi akademisi, disarankan meneliti optimasi kapasitas dan jenis BESS, mengkaji aspek lingkungan melalui life cycle assessment, melakukan studi replikasi di unit pembangkit lain, serta mengembangkan model simulasi yang mempertimbangkan perubahan iklim.

REFERENSI

Afqah, A. M. F., & Ardhiyanto, N. K. (2025). Optimalisasi Pemenuhan Kebutuhan Biodiesel Di Kota XYZ Dengan Pendekatan System Thinking Dan Analytical Hierarchy Process. *Pondasi: Journal of Applied Science Engineering*, *2*(3), 1–11.

Abdelkareem, M. A., Abdelghafar, A. A., Mahmoud, M., Sayed, E. T., Mahmoud, M. S., & Alami, A. H. (2023). Optimized solar photovoltaic-powered green hydrogen: Current status, recent advancements, and barriers. *Solar Energy*.

Afqah, A. M. F., & Ardhiyanto, N. K. (2025). Optimalisasi pemenuhan kebutuhan biodiesel di Kota XYZ dengan pendekatan system thinking dan analytical hierarchy process. *Pondasi: Journal of Applied Science Engineering, 2*(3), 1–11.

Ambabunga, Y., Dedy Ashari, S. T., Ibrahim, A. F., Rantererung, I. C. L., Pasae, Y., Buku, I. A., Patoding, H. E., & Seno, T. T. (2026). *Industri kelistrikan dalam transisi energi*. Arsy Media.

Badan Pusat Statistik. (2026, January 5). *Inflasi year on year (y-on-y) pada Desember 2025 sebesar 2,92 persen* [Siaran pers]. https://www.bps.go.id/id/pressrelease/2026/01/05/2527/inflasi-year-on-year--y-on-y--pada-desember-2025-sebesar-2-92-persen.html

Bistline, J., & Krupnick, A. (2020, February 27). *Investment tax credits for hydrogen storage*. Resources for the Future. https://www.rff.org/publications/issue-briefs/investment-tax-credits-hydrogen-storage/

Darmawan, C. K., & Sebastian, E. (2025). Kebijakan co-firing hidrogen hijau: Solusi dekarbonisasi pembangkit listrik tenaga uap di Indonesia. *Lex Renaissance, 10*(2), 274–307.

Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi. (2024). *Laporan kinerja Ditjen EBTKE 2024*.

Fahruddin, A. (2021). *Determinasi kualitas LFG untuk optimasi pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) menggunakan fuzzy-analytical hierarchy process*. Universitas Islam Sultan Agung.

Fum, W. K., Wong, J. H., & Tan, L. K. (2021). Monte Carlo-based patient internal dosimetry in fluoroscopy-guided interventional procedures: A review. *Physica Medica*, 228–240.

Institute for Essential Services Reform. (2026). *Indonesia LCOE calculator by IESR*. https://iesr.or.id/pustaka/levelized-cost-of-electricity-in-indonesia/

Klebanoff, L. E., Caughlan, S. A., Madsen, R. T., Conard, C. J., Leach, T. S., & Alva, T. B., Jr. (2021). Comparative study of a hybrid research vessel utilizing batteries or hydrogen fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy, 46*(76), 38051–38072.

Li, X., Raorane, C. J., Xia, C., Wu, Y., Kieu, T., & Tran, N. (2023). Latest approaches on green hydrogen as a potential source of renewable energy towards sustainable energy: Spotlighting of recent innovations, challenges, and future insights. *Fuel*.

Maulana, A. (2025). Peran blue hydrogen dalam mendukung target NZE dan kebijakan kendaraan listrik di Indonesia. *Industrial & System Engineering Journals (ISEJOU), 3*(2), 303–312.

Maulana, R., & Bangsa, I. A. (2023). Pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) pada gedung UPHB PT Pembangkit Jawa Bali Unit Muara Karang. *Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering, 5*(1), 67–75.

Marini, L. F. (2018). *Perencanaan strategi pemanfaatan energi terbarukan di Kabupaten Manokwari 2018–2025 guna mendukung Papua Barat sebagai provinsi*

konservasi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Patoding, H. E., & Sau, M. (2020). *Buku ajar energi dan operasi tenaga listrik dengan aplikasi ETAP*. Deepublish.

PT PLN (Persero). (2025). *Rencana usaha penyediaan tenaga listrik (RUPTL) 2025–2032*.

Raji, L., Razak, A. A., & Sharol, A. F. (2025). Comparative assessment of PV simulation tools for a megawatt-scale rooftop solar photovoltaic system in tropical climate. *Next Energy*.

Rauf, R. (2023). *Matahari sebagai energi masa depan: Panduan lengkap pembangkit listrik tenaga surya (PLTS)*. Penerbit Kita Menulis.

Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—What it is and how it is used. *Pergamon Journals*, 161–176.

Setiawan, M. B., Jannus, P., & Nainggolan, B. (2025). Analisa kebutuhan daya hydrogen plant untuk integrasi suplai energi hydrogen plant dengan PLTS di PT PLN Indonesia Power UBP Pangkalan Susu. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin, 1*, 528–537.