

ANALISIS DAN OPTIMASI DESIGN PLTS DI HYDROGEN PLANT: STUDI KASUS PLTU BANTEN 1 SURALAYA

Aditia Setiaputra¹, Marwan Rosyadi²

^{1,2}Institut Teknologi Perusahaan Listrik Negara, Jakarta, Indonesia

¹ aditia2410728@itpln.ac.id

² marwanrosyadi@itpln.ac.id

Abstract—The Indonesian government's commitment to achieving Net Zero Emissions (NZE) by 2060. PT PLN has been developing a hydrogen ecosystem through the establishment of Hydrogen Refueling Stations and the production of green hydrogen utilizing existing hydrogen plant at their power generation facilities. Current solar power plant installed in Banten 1 Suralaya CFPP is unable to fully meet the electricity demand required for green hydrogen production. The existing PV system generates 37.145 MWh of electricity, whereas the annual energy demand of the hydrogen production equipment reaches 178.681 MWh. Monte Carlo simulation results indicate an energy deficit ranging 383-387 kWh per day for green hydrogen production. An added PV system was selected from several alternatives using the Analytical Hierarchy Process based on predefined criteria and alternatives. The selected location was the Maintenance Workshop area. System design and annual energy production were evaluated using PVsyst 8.0.6 simulation software. The simulation results show, added PV system can fully supply the hydrogen production equipment with NRE during the period from 09:00 AM to 03:00 PM. During these hours, PV generation exceeds the hydrogen production load demand, resulting in surplus energy that cannot be exported due to inverter operating limitations. Therefore, the integration of a Battery Energy Storage System is recommended to improve energy utilization. From techno-economic assessment shows the feasibility of the proposed project, with an initial investment cost of USD 38,704, a Net Present Value (NPV) of USD 4,077, an Internal Rate of Return (IRR) of 11.54%, and a payback period of 7 years.

Keywords—Green Hydrogen; Solar Power Plant; Battery Energy Storage System; Analytical Hierarchy Process; Net Present Value; Internal Rate Return; Payback Period.

Intisari—Target pemerintah untuk mencapai Net Zero Emission (NZE) pada tahun 2060 membuat PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) berkomitmen untuk mengembangkan sistem ketenagalistrikan berbasis Energi Baru Terbarukan (EBT). PT PLN (Persero) berupaya untuk berinovasi dalam pembangunan ekosistem hidrogen di Indonesia dengan membangun Hydrogen Refueling Station dan memproduksi Green Hydrogen dengan memanfaatkan Hydrogen Plant di lokasi pembangkit. Terdapat PLTS di PLTU Banten 1 Suralaya namun belum dapat memenuhi kebutuhan energi listrik untuk tercapainya target Green Hydrogen. 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. Lokasi Workshop Pemeliharaan dipilih sesuai hasil pemilihan lokasi dari kriteria dan alternatif yang ada dengan metode Analytical

Hierarchy Process (AHP). Simulasi dilakukan dengan bantuan software PVsyst 8.0.6 untuk mendapatkan design dan perkiraan produksi energi listrik tahunan. 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. Direkomendasikan untuk penambahan Battery Energy Storage System (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.

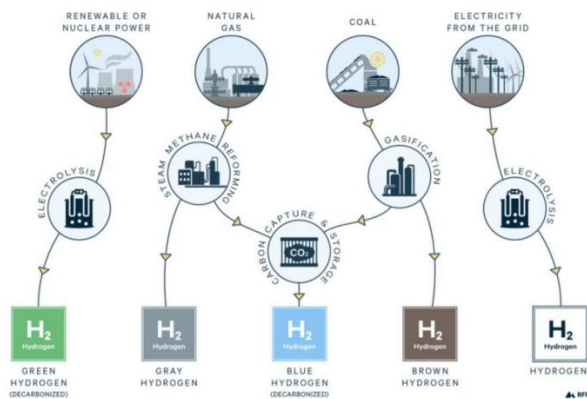
Kata Kunci—Green Hydrogen; Pembangkit Listrik Tenaga Surya; Battery Energy Storage System; Analytical Hierarchy Process; Net Present Value; Internal Rate Return; Payback Period.

I. 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, 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. 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. (PT. PLN, 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 hydrogen. Hydrogen merupakan langkah strategis dalam transisi energi karena kendaraan berbasis hydrogen dianggap tidak mengeluarkan emisi. Pengembangan kendaraan hydrogen 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. Hydrogen merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan yang cocok untuk bahan bakar pada direct combustion atau digunakan pada fuel cells. (Klebanoff, et al., 2021) Hydrogen dapat dihasilkan dari berbagai macam teknologi dan material dasar yang digunakan dalam proses produksinya. (Krupnick, 2020) Berbagai proses produksi hydrogen dapat dilihat pada Gambar 1.2. Saat ini 95% hydrogen diproduksi dengan bahan bakar batubara. Sehingga dapat disebut hydrogen “abu-abu”. Hydrogen “Hijau”, dianggap sebagai proses produksi hydrogen yang paling ramah lingkungan karena menggunakan Renewable Energy Sources (RES) dalam proses produksinya. Terdapat beberapa penelitian tentang teknologi elektrolisa air yang digunakan untuk produksi hidrogen, diantaranya: Alkaline Water Electrolyzer; Proton Exchange Membran; Anion Exchange Membran. Penelitian tersebut memanfaatkan Analytical Hierarchy Process (AHP) sebagai tools untuk mendapatkan teknologi yang paling sesuai untuk digunakan. (S, Wijaya, & Budiman, Water Electrolysis Technology Selection for Green Hydrogen Production in Coastal Isolated Area, 2024)



Gambar 1. Teknologi untuk Produksi Hidrogen.

Sumber: (Krupnick, 2020)

(S, Wijaya, Purwanto, & Budiman, 2024) dalam penelitiannya telah memaparkan potensi dan tantangan pengembangan Green Hydrogen di Indonesia. 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 hydrogen sebesar 203 Ton/tahun. Dimana 75 Ton/tahun digunakan untuk kebutuhan pada pendingin Generator dan 128 Ton/tahun digunakan untuk pengisian mobil hydrogen. Untuk mendukung hydrogen hijau maka untuk proses produksi pada hydrogen plant ditargetkan dapat menggunakan sumber tenaga listrik dari EBT dan tidak lagi menggunakan sumber tenaga listrik dari PLTU berbahan

bakar batubara. Hydrogen 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.

PLTU Banten 1 Suralaya, dengan kapasitas 1x625 MW, memiliki sebuah hydrogen plant untuk memproduksi hydrogen yang digunakan sehari-hari untuk kebutuhan pendingin generator. PLTU Banten 1 Suralaya berencana untuk berkontribusi dalam pengembangan ekosistem kendaraan listrik berbahan bakar hydrogen dengan rencana produksi sebesar 0,2 Ton/tahun. Agar tercipta ekosistem hydrogen 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 Auxiliary Transformer (UAT) dimalam hari atau saat panel surya tidak berproduksi. Dalam proses analisis design saat proyek pembangunan baru sebuah PLTS, salah satu bagian penting adalah analisis beban yang terhubung dengan PLTS. Hal ini untuk meminimalisir fenomena energi yang tidak termanfaatkan (*curtailed energy*) akibat dari beban yang terhubung dengan PLTS lebih rendah dari kapasitas produksi PLTS terutama jika sistem tersebut tidak terintegrasi dengan *Battery Energy Storage System* (BESS). Berbeda dengan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya yang berfokus pada Hybrid Renewable System di pulau Enggano (S, Wijaya, Putra, & Budiman, 2025), penelitian ini secara spesifik bertujuan untuk menganalisis dan mengoptimasi design dari PLTS serta melakukan analisis ekonomi teknik untuk penambahan PLTS di area PLTU Banten 1 Suralaya.

II. METODE PENELITIAN

A. Observasi Lapangan

PLTU Banten 1 Suralaya memiliki Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang telah terpasang pada pertengahan tahun 2023. Untuk peletakan dari panel surya diposisikan diatas daru gedung fire fighting building. Panel Surya yang digunakan di PLTU Banten 1 Suralaya adalah tipe Monocrystalline Module, produksi dari Trina Solar dengan output maksimal 575 wp. Total panel surya yang terpasang sebanyak 54 panel, dengan daya maksimum sebesar 31,050 kWp. Outputan dari panel surya masuk ke inverter untuk diubah ke dalam tegangan AC agar dapat sinkron dengan jaringan dari Unit Auxiliary Transformer yang digunakan sebagai sumber energi listrik untuk peralatan electrolyzer pada Hydrogen Plant. Inverter yang digunakan pada sistem PLTS ini menggunakan type Huawei Sun2000 25kTL-M5. Pemasangan panel surya terletak diatas Fire Fighting House dengan menempati luasan area 25 m x 9,6 m. Jumlah panel surya terdiri dari 54 panel dengan menggunakan konfigurasi seri dan paralel dengan ujung rangkaian terhubung ke inverter.

Peralatan produksi hidrogen pada hydrogen plant yang digunakan di PLTU Banten 1 Suralaya menggunakan prinsip elektrolisa air untuk memisahkan gas hidrogen dan oksigen. Kapasitas produksi gas hidrogen sebesar 5 m³/h. Air yang digunakan adalah air demineral atau air yang sudah melalui proses pada water treatment untuk menghilangkan kandungan mineral. Parameter kunci dalam proses produksi hidrogen adalah tegangan dan arus

pada electrolyzer. Laju proses elektrolisis dalam produksi hidrogen tergantung dari besaran arus yang mengalir dalam elektroda. Sumber energi listrik pada peralatan elektrolisa air berasal dari jaringan unit auxiliary transforemer dengan sistem tiga fasa dan menggunakan empat kabel. Tegangan pada power supply tersebut dapat diatur dengan menggunakan thyristor pada water cooling.

B. Analisis 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 I.

PLTS yang terpasang saat ini terhubung secara on-grid dengan sistem jaringan untuk suplai tenaga listrik pada sistem electrolyzer. Listrik yang dihasilkan dari PLTS dialirkan inverter untuk merubah dari sistem DC menjadi sistem AC agar dapat terhung dengan jaringan.

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.

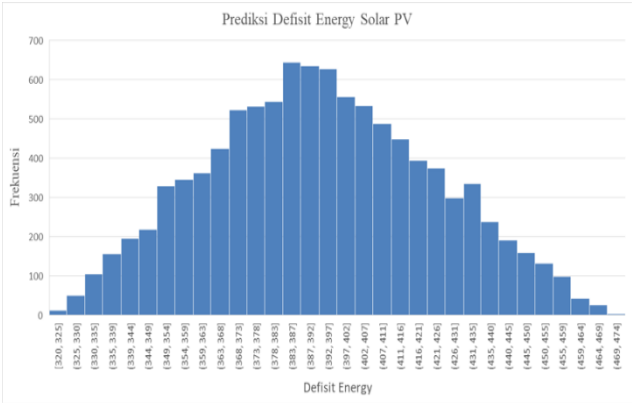
Tabel I
Produksi PLTS dan Kebutuhan Daya Electrolyzer

Bulan	Produksi (KWh)	Konsumsi Energi Listrik Electrolyzer (KWh)
Apr-25	3496,11	14533,09
May-25	3537,88	14891,64
Jun-25	3345,38	14405,98
Jul-25	3692,04	14881,31
Aug-25	4008,92	14882,03
Sep-25	3847,06	14397,46
Oct-25	3883,49	14884,97
Nov-25	2881,39	14396,19
Dec-25	2466,49	14880,76
Jan-26	2644,01	14856,81
Feb-26	2624,00	13431,21
Mar-26	719,22	3842,79
Total	37145,99	178681,70

C. Proyeksi Defisit Kebutuhan Energi Hijau

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. Selanjutnya dilakukan metode 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. (Barutcu, Sharma, Bokoro, & Celik, 2024) 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. 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.



Gambar 2. Proyeksi Defisit Hasil Pemodelan Monte Carlo

D. Design Penambahan PLTS

Pembuatan design untuk penambahan PLTS di Area PLTU Banten 1 Suralaya menggunakan perangkat lunak Pvsyst 8.0.6. Lokasi untuk penambahan panel surya direncanakan ada di empat lokasi. 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. Hasil simulasi dari software PVSyst 8.0.6, produksi energi listrik untuk empat lokasi yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel II.

Tabel II
Simulasi Produksi Energi ke Grid

	Workshop Pemeliharaan (MWh)	Rooftop Boiler (MWh)	Outfall (MWh)	Administrasi Pemeliharaan (MWh)
Jan	9,62	20,53	6,427	2,831
Feb	9,02	19,81	5,882	2,731
Mar	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
Jun	9,01	22,22	4,934	3,062
Jul	9,88	24,24	5,465	3,342
Aug	10,91	26,02	6,282	3,588
Sept	11,26	25,79	6,842	3,555
Okt	10,94	24,2	7,003	3,336
Nov	9,68	20,8	6,457	2,867
Des	9,55	20,32	6,516	2,801
Total	120,04	274,79	73,748	37,882

E. 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 dalam penentuan kriteria yang dipakai dalam pemilihan lokasi pembangunan PLTS, yang didapat dari dua expert dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel III. 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 4. 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.

Tabel III
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

Tabel IV
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

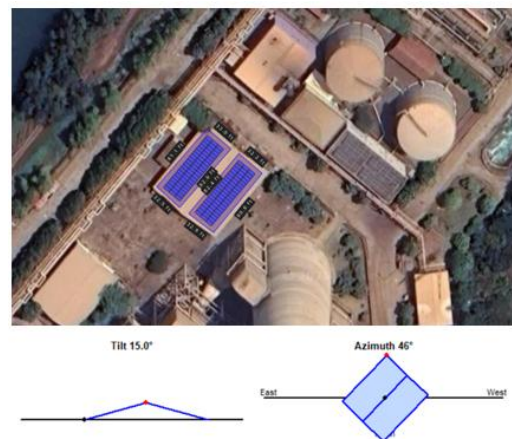
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

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 V.

Tabel V
Spesifikasi Teknik Design PLTS Area Workshop Pemeliharaan

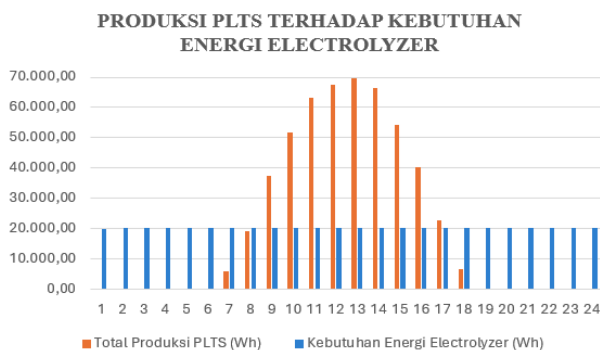
Spesifikasi	Parameter
PV Module	Trina Solar
Model	TSM-NEG19RC-570
Unit Nom Power (Wp)	570
Jumlah PV Modul (unit)	132
Nominal standard Test Condition (KWp)	77
Pmpp (KWp)	71.1
U mpp (Volt)	533
I mpp (Ampere)	133
Total Module Area (m2)	527
Inverter Manufacture	Huawei Technologies
Model	SUN2000-25KTL-M5-400V

Spesifikasi	Parameter
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



Gambar 3. Design dan Rencana Lokasi Pemabngunan PLTS.
Sumber: PVSyst

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 504.726,37 KWh. Total kebutuhan energi harian peralatan electrolyzer sebesar 484.436,30 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 4 Simulasi Produksi PLTS Terhadap Kebutuhan Energi Electrolyzer

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. (Paradongan, et al., 2024) Perhitungan analisis ekonomi-teknik dilakukan untuk penambahan PLTS pada Area Workshop Pemeliharaan. Inputan Data Finansial dapat dilihat pada Tabel VI.

Tabel VI
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 (Reform, 2026)

Parameter	Nilai	Sumber
Inflasi	2,92%	Badan Pusat Statistik (Statistik, 2026)
Biaya Pemeliharaan	773 USD /Tahun	Asumsi 2% dari Biaya Investasi Awal per tahun sesuai standar industri PLTS (IRENA, 2025)
Umur PLTS	20 Tahun	Asumsi

Hasil dari analisis ekonomi – teknik proyek penambahan PLTS di area Workshop Pemeliharaan dapat dinyatakan layak, dengan Biaya Investasi Awal, *Net Present Value*, *Internal Return of Rate*, dan *Payback Periode* dipaparkan pada Tabel 7. Sebagai *benchmarking*, pada penelitian yang sejenis dan dengan kapasitas yang tidak jauh berbeda, penulis menggunakan penelitian dari (Fahmi & Rarasati, 2026) dimana dalam penelitiannya membandingkan tiga lokasi yang berbeda: kantor pemerintahan dengan kapasitas 136 kWp; fasilitas pendidikan 101,68 kWp; bangunan fasilitas ibadah 163,8 kWp; mendapatkan nilai NPV >1 untuk fasilitas pendidikan dan bangunan tempat ibadah sehingga secara kajian ekonomi dapat dikategorikan layak.

Tabel VII
Analisis Ekonomi Teknik

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

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan:

- 1) 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.
- 2) Berdasarkan Analytical Hierarchy Process (AHP), dari 4 kriteria dan 4 alternatif lokasi dipilih area Workshop Pemeliharaan untuk lokasi pembangunan penambahan PLTS.
- 3) 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 *curtailed energy* atau energy justru tidak termanfaatkan karena pembangunan PLTS tidak dilengkapi dengan *Battery Energy Storage System* (BESS), sehingga integrasi

dengan BESS sangat direkomendasikan untuk studi lanjutan.

- 4) 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.

Beberapa keterbatasan dalam penelitian ini, diantaranya:

- 1) Keterbatasan periode pengambilan data. Penelitian dilakukan selama 1 tahun sehingga kurang dapat menangkap fenomena alam yang terjadi di Indonesia seperti fenomena La Nina dan El Nino dan seberapa besar dampaknya terhadap kinerja dari PLTS.
- 2) AHP dalam penelitian kali ini hanya terbatas kepada 2 expert. Hal ini dapat mempengaruhi hasil dari AHP karena hasil menjadi kurang optimal dan dapat lebih cenderung kepada kepentingan masing-masing expert.

Saran dari penulis untuk penelitian berikutnya, diantaranya yaitu:

- 1) Dilakukan analisis sensitivitas ekonomi untuk melihat seberapa besar pengaruh dari perubahan diskonto dapat berpengaruh kepada NPV dan kelayakan proyek.
- 2) Dilakukan kajian mendalam tentang sizing dan keekonomian saat sistem terintegrasi dengan Battery Energy Storage System (BESS)
- 3) Dapat dilakukan replikasi metodologi untuk beberapa unit pembangkit lain di PLN Group untuk mendapatkan kesimpulan yang lebih tergeneralisasi.

REFERENSI

- [1] Barutcu, I. C., Sharma, G., Bokoro, P. N., & Celik, E. (2024). Application of Monte Carlo simulation and stochastic fractional search algorithm for solar PV placement considering diverse solar radiations. *Energy Reports*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.12.070>
- [2] Direktorat Jenderal Energi Baru dan Terbarukan. (2024). LAPORAN KINERJA DITJEN EBTKE 2024.
- [3] Fahmi, A., & Rarasati, A. D. (2026). Rooftop photovoltaic in public buildings: Technical and financial evidence from multi-year operational data in Indonesia. *Next Energy*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.nxener.2026.100770>
- [4] IRENA. (2025). Renewable Power Generation Costs in 2024. p. 100.
- [5] Klebanoff, L. E., Caughlan, S. A., Madsen, R. T., Conard, C. J., Leach, T. S., & Jr., T. B. (2021). Comparative study of a hybrid research vessel utilizing batteries or hydrogen fuel cells. *International journal of Htdrogen Energy*, 46(76), 38051-38072.
- [6] Krupnick, J. B. (2020, Februari 27). *Investment tax Credits for hydrogen storage*. (Resources for the Future) Retrieved November 13, 2025, from <https://www.rff.org/publications/issue-briefs/investment-tax-credits-hydrogen-storage/>
- [7] Paradongan, H. T., Hakam, D. F., Wiryono, S. K., Prahastono, I., Aditya, I. A., Banjarnahor, K. M., . . . Asekomeh, A. (2024, March 27). Techno-economic feasibility study of solar photovoltaic power plant using RETScreen to achieve Indonesia energy transition. *Heliyon*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27680>
- [8] PT. Perusahaan Listrik Negara. (2025, Mei 26). Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL). 2025-2034, p. 77.
- [9] Reform, I. f. (2026). *Indonesia LCOE Calculator by IESR*. Retrieved June 08, 2026, from <https://iesr.or.id/pustaka/levelized-cost-of-electricity-in-indonesia/>
- [10] S, A., Wijaya, F. D., & Budiman, A. (2024). Water Electrolysis Technology Selection for Green Hydrogen Production in Coastal Isolated Area. *Engineering Journal*. doi:10.4186/ej.2024.28.11.1
- [11] S, A., Wijaya, F. D., Purwanto, M. R., & Budiman, A. (2024). GREEN HYDROGEN IN INDONESIA: AN OVERVIEW OF PRESENT STATUS, CHALLENGES, AND FUTURE POTENTIAL. *EMERG*. doi:<https://doi.org/10.37410/EMERG.2024.4.05>
- [12] S, A., Wijaya, F. D., Putra, J. T., & Budiman, A. (2025). Optimization of Hybrid Renewable Energy System with Hydrogen Energy Storage for Enhanced Sustainability in Remote Areas: A Case Study of Enggano Island, Indonesia. *Solar Energy and sustainable Development*. doi:<https://doi.org/10.51646/jsesd.v14i2.618>
- [13] Statistik, B. P. (2026, Januari). *Badan Pusat Statistik Press Release*. Retrieved Juni 8, 2026, from <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>