TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 4, September 2026, page 1810-1820
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i4.10913

Analisa Prediksi Produksi Energi PLTA Menggunakan Metode Simulasi Monte Carlo

Sinda Ramadhana Akbar*, Musa Partahi Marbun

Sekolah Pascasarjana, S2 Teknik Elektro, Institut Teknologi PLN, DKI Jakarta, Indonesia
Email Penulis Korespondensi: sindakbar@gmail.com

Abstrak–Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang berperan penting dalam penyediaan energi listrik nasional. Produksi energi PLTA dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kondisi hidrologi, debit air, curah hujan, keandalan peralatan, pemeliharaan, dan kebutuhan sistem, sehingga diperlukan metode prediksi yang mampu mengakomodasi ketidakpastian. Penelitian ini bertujuan memprediksi produksi energi listrik PLTA Kerinci Merangin selama 30 tahun menggunakan Simulasi Monte Carlo serta menganalisis nilai Capacity Factor (CF). Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif berdasarkan data historis produksi energi dengan tahapan perhitungan distribusi probabilitas, distribusi kumulatif, pembangkitan bilangan acak menggunakan Microsoft Excel, dan simulasi sebanyak 360 iterasi yang merepresentasikan 30 tahun operasi. Hasil simulasi menunjukkan total produksi energi sebesar 42.950.284.934 kWh, dengan rata-rata produksi tahunan 1.431.676.164 kWh dan rata-rata bulanan 119.306.347 kWh. Nilai rata-rata Capacity Factor sebesar 46,68%, dengan nilai maksimum 92,22% dan minimum 14,91%, yang menunjukkan tingkat pemanfaatan kapasitas pembangkit berada pada kategori sedang hingga tinggi. Evaluasi terhadap skema Take or Pay menunjukkan sebagian besar hasil simulasi memenuhi target kontrak, meskipun terdapat tujuh tahun yang diprediksi berada di bawah target akibat pengaruh kondisi hidrologi, debit air, dan keandalan operasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Simulasi Monte Carlo efektif digunakan untuk prediksi produksi energi jangka panjang serta dapat menjadi dasar dalam perencanaan operasi, pemeliharaan, pengelolaan sumber daya air, dan strategi bisnis guna meningkatkan keandalan sistem serta mendukung pengambilan keputusan.

Kata Kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Air; Simulasi Monte Carlo; Prediksi Produksi Energi; Capacity Factor; Take or Pay; PLTA Kerinci Merangin

Abstract–Hydropower Plants (HPPs) are one of the most important renewable energy sources supporting the national electricity supply. However, electricity generation in HPPs is influenced by various factors, including hydrological conditions, water discharge, rainfall, equipment reliability, maintenance schedules, and power system demand, resulting in inherent uncertainty in energy production. This study aims to predict the electricity generation of the Kerinci Merangin Hydropower Plant over a 30-year period using the Monte Carlo Simulation method and to analyze its Capacity Factor (CF). A quantitative approach was employed using historical electricity generation data from the Kerinci Merangin Hydropower Plant. The research procedure included probability distribution analysis, cumulative distribution development, random number generation using Microsoft Excel, and 360 simulation iterations representing 30 years of plant operation. The simulation results indicate a total projected electricity generation of 42,950,284,934 kWh, with an average annual generation of 1,431,676,164 kWh and an average monthly generation of 119,306,347 kWh. The average Capacity Factor was 46.68%, with monthly values ranging from 14.91% to 92.22%, indicating a moderate to high level of plant capacity utilization. Evaluation under the annual Take-or-Pay scheme shows that most simulation results meet the contractual energy target, although seven years are predicted to fall below the target due to variations in hydrological conditions, water discharge, and plant operational reliability. The findings demonstrate that the Monte Carlo Simulation method is effective for long-term electricity generation forecasting and can serve as a valuable tool for operational planning, maintenance scheduling, water resource management, and business strategy development to enhance system reliability and support informed decision-making.

Keywords: Hydropower Plant; Monte Carlo Simulation; Energy Production Forecasting; Capacity Factor; Take-or-Pay; Kerinci Merangin Hydropower Plant

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam mendukung pertumbuhan ekonomi, perkembangan industri, serta peningkatan kualitas hidup masyarakat. Seiring meningkatnya kebutuhan energi nasional, pemerintah Indonesia terus mendorong pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT) sebagai upaya mewujudkan ketahanan energi sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap pembangkit berbahan bakar fosil (Yana et al., 2022) . Komitmen tersebut tertuang dalam Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) yang menetapkan arah pengelolaan energi nasional melalui peningkatan pemanfaatan energi baru dan terbarukan, konservasi energi, serta diversifikasi sumber energi. KEN menargetkan bauran energi baru dan terbarukan mencapai paling sedikit 23% pada tahun 2025 dan paling sedikit 31% pada tahun 2050, sehingga diperlukan percepatan pembangunan dan optimalisasi pembangkit listrik berbasis energi bersih.

Sebagai implementasi dari Kebijakan Energi Nasional, pemerintah menyusun Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) sebagai pedoman dalam pengembangan sistem ketenagalistrikan nasional. RUKN mengarahkan pembangunan ketenagalistrikan yang mengutamakan kecukupan pasokan, keandalan sistem, efisiensi, pemerataan akses listrik, serta peningkatan pemanfaatan energi baru dan terbarukan sesuai potensi sumber daya di setiap wilayah. Selanjutnya, arah kebijakan tersebut dijabarkan dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PLN 2025–2034, yang menempatkan pembangkit berbasis EBT sebagai prioritas utama dalam penambahan kapasitas pembangkit nasional. RUPTL menegaskan bahwa tenaga air merupakan salah satu sumber energi strategis yang memiliki peran penting dalam mendukung transisi energi, pencapaian target *Net Zero Emission* (NZE) Indonesia, serta peningkatan keandalan sistem tenaga listrik nasional. Oleh karena itu, peningkatan kinerja, keandalan operasi, dan kemampuan

Copyright © 2026 the author, Page 1810
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 4, September 2026, page 1810-1820
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i4.10913

memprediksi produksi energi listrik dari pembangkit tenaga air menjadi aspek yang sangat penting dalam mendukung keberhasilan implementasi KEN, RUKN, dan RUPTL. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi sangat besar di Indonesia adalah tenaga air (*hydropower*). Dengan kondisi geografis yang memiliki banyak sungai berdebit tinggi dan curah hujan yang relatif besar, pembangkit listrik tenaga air (PLTA) menjadi salah satu pembangkit yang mampu menghasilkan energi listrik secara berkelanjutan, efisien, dan ramah lingkungan (Agustian & Helmizar, 2023) .

PLTA Kerinci Merangin merupakan salah satu pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas 350 MW yang memiliki peranan penting dalam menyuplai energi listrik ke sistem interkoneksi Sumatera. Sebagai pembangkit berbasis tenaga air, besarnya energi listrik yang dihasilkan dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti debit air, tinggi jatuh air (head), efisiensi turbin dan generator, kondisi hidrologi, jadwal pemeliharaan, serta keandalan peralatan pembangkit (Rahayu & Windarta, 2022) . Variasi faktor-faktor tersebut menyebabkan produksi energi listrik setiap bulan maupun setiap tahun tidak selalu sama (Altamis et al., 2026) . Kondisi tersebut mengakibatkan perlunya suatu metode analisis yang mampu memprediksi kemungkinan produksi energi listrik di masa mendatang dengan mempertimbangkan ketidakpastian yang terjadi pada data historis operasi pembangkit (Larasari et al., 2021) .

Prediksi produksi energi listrik merupakan salah satu aspek penting dalam perencanaan operasi pembangkit listrik (Nadhiroh, 2020a) . Hasil prediksi tidak hanya digunakan sebagai dasar penyusunan strategi operasi dan pemeliharaan pembangkit, tetapi juga menjadi acuan dalam perencanaan bisnis perusahaan, evaluasi investasi, penyusunan kontrak jual beli tenaga listrik, hingga analisis kelayakan ekonomi proyek pembangkit (Zaini et al., 2020) . Selain itu, prediksi produksi energi yang akurat menjadi faktor penting dalam memastikan keandalan pasokan energi, pencapaian target produksi, serta optimalisasi pemanfaatan pembangkit energi baru dan terbarukan sebagaimana diamanatkan dalam KEN, RUKN, dan RUPTL PLN. Oleh karena itu, diperlukan metode prediksi yang mampu menggambarkan kondisi aktual pembangkit dengan tingkat akurasi yang baik (Abilio Faizal et al., 2025) .

Salah satu metode yang banyak digunakan untuk menganalisis sistem yang mengandung unsur ketidakpastian adalah metode Simulasi Monte Carlo (Rosiani et al., 2024) . Metode ini merupakan teknik simulasi berbasis probabilitas yang memanfaatkan bilangan acak berdasarkan distribusi data historis sehingga mampu menghasilkan berbagai kemungkinan kondisi produksi energi di masa depan (Tama & Subekti, 2025) . Berbeda dengan metode deterministik yang hanya menghasilkan satu nilai prediksi, simulasi Monte Carlo dapat menghasilkan ribuan kemungkinan skenario sehingga mampu memberikan gambaran risiko dan peluang yang lebih realistis terhadap performa pembangkit (Bolhuis & Swenson, 2021) . Pada penelitian ini, simulasi Monte Carlo digunakan untuk memprediksi produksi energi listrik PLTA Kerinci Merangin selama periode 30 tahun ke depan. Pemilihan periode simulasi selama 30 tahun didasarkan pada umur ekonomis proyek pembangkit listrik tenaga air serta jangka waktu evaluasi investasi yang umum digunakan pada sektor ketenagalistrikan. Dengan melakukan simulasi dalam jangka panjang, diharapkan dapat diperoleh gambaran mengenai pola produksi energi, tingkat kestabilan pembangkit, serta potensi risiko penurunan produksi akibat fluktuasi debit air maupun kondisi operasional lainnya.

Selain melakukan prediksi produksi energi, penelitian ini juga menganalisis nilai *Capacity Factor* (CF) pembangkit. *Capacity Factor* merupakan salah satu indikator utama dalam mengevaluasi kinerja pembangkit listrik karena menunjukkan tingkat pemanfaatan kapasitas terpasang selama periode tertentu. Nilai *Capacity Factor* diperoleh dari perbandingan antara energi listrik aktual yang dihasilkan terhadap energi maksimum yang seharusnya dapat diproduksi apabila pembangkit beroperasi penuh selama periode waktu tertentu (Nadhiroh, 2020b) . Semakin tinggi nilai *Capacity Factor*, semakin optimal pemanfaatan aset pembangkit dalam menghasilkan energi listrik. Nilai *Capacity Factor* juga menjadi salah satu indikator penting dalam menilai efektivitas pemanfaatan pembangkit EBT untuk mendukung keandalan sistem tenaga listrik dan pencapaian target bauran energi nasional.

Penelitian ini memanfaatkan data historis produksi energi listrik PLTA Kerinci Merangin sebagai dasar pembentukan distribusi probabilitas. Selanjutnya dilakukan proses pembangkitan bilangan acak menggunakan metode Monte Carlo untuk mensimulasikan produksi energi setiap bulan selama periode 30 tahun. Hasil simulasi kemudian digunakan untuk menghitung nilai *Capacity Factor* setiap tahun, mengevaluasi tren produksi energi jangka panjang, serta mengetahui terpenuhinya nilai *Take or Pay* sesuai target produksi yang telah ditetapkan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan dengan judul "Analisa Prediksi Produksi Energi PLTA Kerinci Merangin Menggunakan Metode Simulasi Monte Carlo." Penelitian ini berfokus pada prediksi produksi energi selama 30 tahun ke depan menggunakan simulasi Monte Carlo, analisis nilai *Capacity Factor* sebagai indikator kinerja pembangkit, serta mengetahui pencapaian nilai *Take or Pay* sebagai dasar analisis teknis dan ekonomi pembangkit listrik tenaga air. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengelola PLTA dalam meningkatkan keakuratan perencanaan operasi, optimalisasi pemanfaatan sumber daya air, serta mendukung keberhasilan implementasi kebijakan nasional di bidang energi dan ketenagalistrikan, khususnya dalam mewujudkan target pengembangan energi baru dan terbarukan sesuai amanat KEN, RUKN, dan RUPTL PLN.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan pendekatan simulasi. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian menggunakan data numerik berupa data historis produksi energi listrik PLTA Kerinci Merangin yang kemudian dianalisis menggunakan metode statistik dan Simulasi Monte Carlo.

This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 4, September 2026, page 1810-1820
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i4.10913

Simulasi Monte Carlo digunakan untuk memprediksi produksi energi listrik selama 30 tahunrdasarkan distribusi probabilitas data historis. Hasil simulasi selanjutnya digunakan untuk menganalisis *Capacity Factor* (CF) serta mengetahui pencapaian target *Take or Pay.*

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada salah satu pembangkit listrik tenaga air (PLTA) Kerinci Merangin. Pengambilan data dilakukan pada periode 2026. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder.

1. Data Primer
   Data Primer diperoleh melalui observasi, wawancara, dokumentasi yang berkaitan langsung dengan operasional pembangkit.
2. Data Sekunder
   Data Sekunder diperoleh dari laporan perusahaan, arsip data operasional, dan dokumen pendukung lainnya yang relevan.
   Data Sekunder yang digunakan meliputi:
   a. Data produksi energi pembangkit (MWh)
   b. Data beban sistem (MW)
   c. Data Gangguan/unit trip pembangkit
   d. Data *Capacity Factor* historis

Metode pengumpulan data yang digunakan meliputi studi dokumentasi, observasi lapangan, dan wawancara terstruktur dengan pihak terkait di pembangkit serta pengumpulan data dari sistem informasi perusahaan.

2.2 Metode Simulasi Monte Carlo

Metode Monte Carlo merupakan metode simulasi berbasis probabilitas yang menggunakan bilangan acak untuk memprediksi kemungkinan hasil pada suatu sistem yang mengandung ketidakpastian.
Tahapan pelaksanaannya sebagai berikut.

1. Mengumpulkan data historis produksi energi.
2. Menghitung distribusi probabilitas.

$$P_i = \frac{x_i}{\sum x_i} \quad (1)$$

3. Menghitung probabilitas kumulatif.

$$F_i = \sum P_i \quad (2)$$

4. Membentuk interval random number.
5. Generate random number.
   Menggunakan Microsoft Excel:

   ‘=RAND() (3)

6. Menentukan produksi hasil simulasi.
   Nilai random akan dicocokkan terhadap interval probabilitas sehingga diperoleh nilai produksi energi simulasi.
7. Mengulang simulasi. Proses simulasi dilakukan selama 12 bulan dalam periode operasi 30 tahun, sehingga menghasilkan 360 iterasi produksi energi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Statistik Data

Untuk melakukan simulasi monte carlo maka dibutuhkan data historis dari produksi PLTA Kerinci Merangin.

Tabel 1. Tabel Data Historis produksi tahun 1

Data Historis	Nilai
Kapasitas Terpasang (MW)	350
Total Energi Historis (kWh)	1.444.821.918
CF Historis	40.38%
Energi Historis Maksimum	216.900.000
Energi Historis Minimum	38.821.918

Analisis statistik dilakukan untuk mengetahui karakteristik data sebelum dilakukan simulasi.

Copyright © 2026 the author, Page 1812
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 4, September 2026, page 1810-1820
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i4.10913

Tabel 2. Hasil Analisis Statistik Deskriptif Data Input

Statistik 30 Tahun	Nilai	Keterangan
Total Energi	42.950.284.934	Akumulasi 360 bulan
Rata-rata Energi Tahunan	1.431.676.164	Rata-rata 30 tahun
Rata-rata Energi Bulanan	119.306.347	Rata-rata 360 bulan
Rata-rata *Capacity Factor*	46,68%	CF rata-rata simulasi
CF Maksimum Bulanan	92,22%	CF tertinggi dari 360 bulan
CF Minimum Bulanan	14,91%	CF terendah dari 360 bulan
Standar Deviasi Energi Bulanan	51.908.131	Variasi produksi bulanan

Berdasarkan Tabel 2, Total produksi 30 tahun 42.950.284.934 kWH dengan rata-rata *Capacity Factor* 46,68%, dan Standard Deviasi Bulanan 51.908.131. Hasil analisis menunjukkan bahwa data produksi energi memiliki variasi yang cukup besar sehingga metode probabilistik seperti Simulasi Monte Carlo sesuai digunakan.

3.2 Distribusi Probabilitas

Setiap data produksi diubah menjadi probabilitas menggunakan persamaan:

Tabel 3. Hasil Distribusi Probabilitas

Bulan	Probabilitas
November	2,69%
Desember	8,72%
Januari	7,99%
Februari	8,31%
Maret	10,73%
April	10,45%
Mei	15,01%
Juni	8,31%
Juli	4,15%
Agustus	3,75%
September	3,63%
Oktober	3,75%
November	4,35%
Desember	8,15%

Distribusi probabilitas menjadi dasar pembentukan distribusi kumulatif. Probabilitas kumulatif dihitung untuk membentuk interval bilangan acak.

Tabel 4. Data Hasil Distribusi Komulatif

Bulan	Kumulatif
November	2,69%
Desember	11,41%
Januari	19,40%
Februari	27,71%
Maret	38,44%
April	48,89%
Mei	63,90%
Juni	72,20%
Juli	76,36%
Agustus	80,11%
September	83,75%
Oktober	87,50%
November	91,85%
Desember	100,00%

Interval ini digunakan untuk menentukan hasil simulasi.

3.3 Pembentukan Bilangan Acak

Bilangan acak dibangkitkan menggunakan fungsi: =RAND(), sebanyak 360 data random dihasilkan untuk simulasi selama 30 Tahun.

Copyright © 2026 the author, Page 1813
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 4, September 2026, page 1810-1820
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i4.10913

Tabel 5. Hasil Generate Bilangan Acak (1-12 bulan dan 360 bulan Iterasi)

Bulan	Bilangan Acak
1	0,2484
2	0,8692
3	0,3840
4	0,5234
5	0,4050
6	0,0780
7	0,2445
8	0,1710
9	0,8343
10	0,6669
11	0,2358
12	0,2162
.....	.....
360	0,6737

Bilangan acak dibangkitkan menggunakan distribusi probabilitas yang telah diterapkan. Sebagian hasil generate bilangan acak ditunjukkan pada Tabel 4.6.

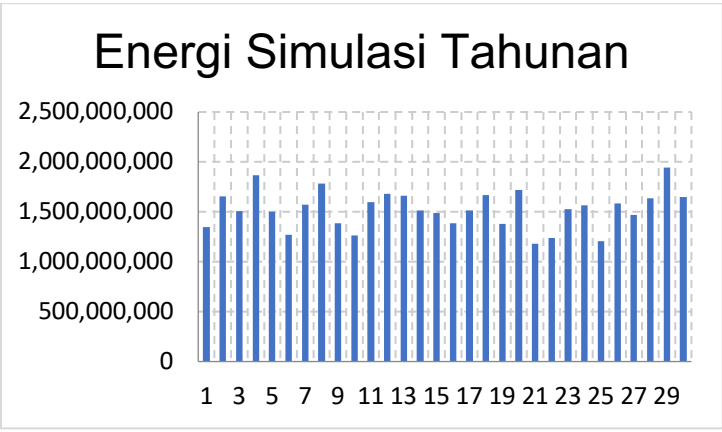
3.4 Hasil Simulasi Monte Carlo

Simulasi produksi energi dilakukan selama 12 bulan dalam periode 30 tahun, dengan total 360 iterasi menggunakan metode Monte Carlo. Hasil simulasi produksi energi untuk tahun ke-1 hingga ke-15 serta tahun ke-30 disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Simulasi Produksi Energi Monte Carlo

Tahun	Produksi(kWh)
1	1.471.150.000
2	1.643.700.000
3	1.357.221.918
4	1.176.521.918
5	1.760.600.000
6	1.440.921.918
7	1.407.850.000
8	1.223.000.000
9	1.452.850.000
10	1.562.550.000
11	1.388.871.918
12	1.549.650.000
13	1.636.550.000
14	1.295.200.000
15	1.584.950.000
.....	.....
30 (360)	1.654.900.000

3.5 Analisis Prediksi Produksi Listrik



Gambar 1. Grafik simulasi produksi energi 30 Tahun

Copyright © 2026 the author, Page 1814
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 4, September 2026, page 1810-1820
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i4.10913

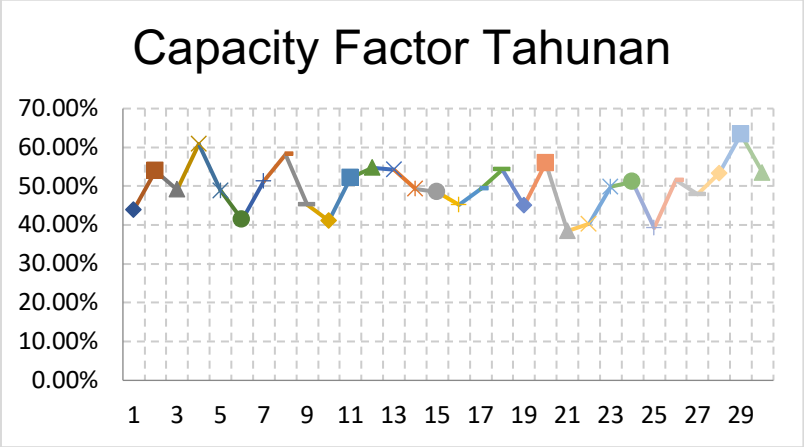
Berdasarkan Gambar 1, grafik simulasi menunjukkan bahwa produksi energi relatif stabil pada kisaran tertentu, dengan fluktuasi yang dipengaruhi oleh debit air sungai, curah hujan, availability unit, maintenance unit, tinggi muka air waduk, forced outage, dan dispatch PLN. Rata-rata produksi energi hasil simulasi mendekati data historis, sehingga model Monte Carlo mampu merepresentasikan karakteristik operasi PLTA secara cukup baik.

3.6 Analisis *Capacity Factor*

Capacity Factor dihitung untuk setiap interasi sebanyak 360 Iterasi, hasil *Capacity Factor* dapat dipengaruhi setiap tahunnya akibat dari produksi energi setiap bulanan, karena tergantung permintaan Dispatcher UIP3BS dan ROB Bulanan serta maintenance pembangkit.

Tabel 7 Tabel *Capacity Factor* Tahunan

Tahun	*Capacity Factor* (CF)	Status CF
1	47,98%	Sedang
2	53,46%	Tinggi
3	44,27%	Sedang
4	38,37%	Sedang
5	57,42%	Tinggi
6	46,87%	Sedang
7	45,92%	Sedang
8	39,89%	Sedang
9	47,39%	Sedang
10	50,82%	Tinggi
11	45,30%	Sedang
12	50,54%	Tinggi
13	53,38%	Tinggi
14	42,13%	Sedang
15	51,69%	Tinggi
.....	.....	.....
30 (360)	53,83%	Tinggi



Gambar 2. Grafik *Capacity Factor* 30 Tahun

Berdasarkan Tabel 7, Hasil simulasi menunjukkan bahwa *Capacity Factor* berada pada kisaran operasi yang stabil. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pembangkit memiliki tingkat pemanfaatan kapasitas yang baik dan dapat memenuhi target operasi apabila kondisi hidrologi tetap terjaga.

3.7 Analisis *Take or Pay*

Produksi hasil simulasi dibandingkan terhadap target kontrak yaitu sebesar 1280 GWh/Tahun.

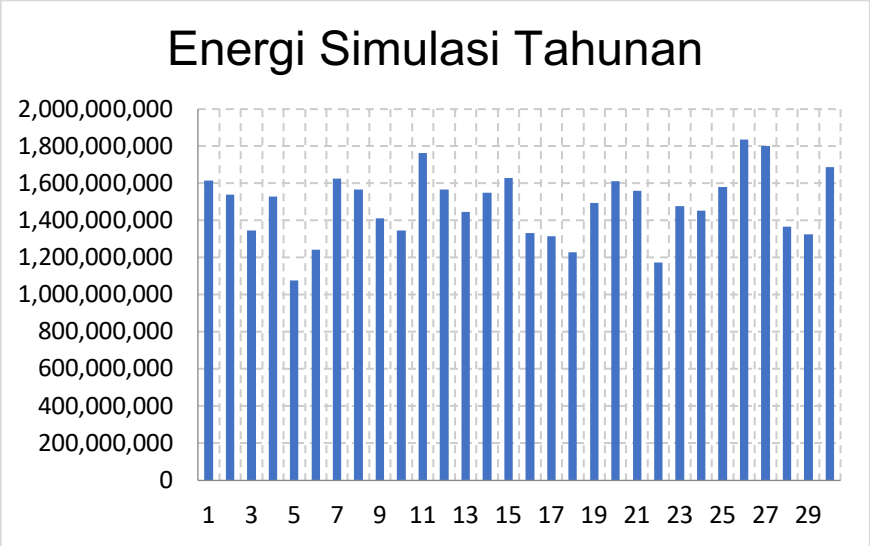
Tabel 8. *Take or Pay* selama 30 Tahun

Tahun	Produksi (kWh)	Target (kWh)	Status
1	1.471.150.000		Tercapai
2	1.643.700.000		Tercapai
3	1.357.221.918	1.280.000.000	Tercapai
4	1.176.521.918		Tidak Tercapai
5	1.760.600.000		Tercapai

Copyright © 2026 the author, Page 1815
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 4, September 2026, page 1810-1820
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i4.10913

Tahun	Produksi (kWh)	Target (kWh)	Status
6	1.440.921.918		Tercapai
7	1.407.850.000		Tercapai
8	1.223.000.000		Tidak Tercapai
9	1.452.850.000		Tercapai
10	1.562.550.000		Tercapai
11	1.388.871.918		Tercapai
12	1.549.650.000		Tercapai
13	1.636.550.000		Tercapai
14	1.295.200.000		Tercapai
15	1.584.950.000		Tercapai
.....	.....		
30 (360)	1.654.900.000		Tercapai



Gambar 3. Hasil Prediksi Energi Tahunan

Berdasarkan Tabel 8 dan Gambar 3, PLTA Kerinci Merangin dalam kontrak dengan PLN dalam setiap tahun wajib mengirimkan energi sebanyak 1.280.000.000, pada simulasi *Take or Pay* PLTA Kerinci Merangin dapat mencapai penjualanannya setiap tetapi ada 7 tahun akan dibawah pencapaian. Ini disebabkan keandalan pembangkit dan hidrologi bendungan dalam memasok air. Cuaca sangat mempengaruhi jumlah debit air.

3.8 Pembahasan

3.8.1 Pembahasan Hasil Simulasi Produksi Energi

Hasil simulasi Monte Carlo menunjukkan bahwa prediksi produksi energi PLTA Kerinci Merangin selama periode simulasi 30 tahun menghasilkan total energi sebesar 42.950.284.934 kWh dengan rata-rata produksi tahunan sebesar 1.431.676.164 kWh**.** Nilai tersebut relatif mendekati data historis sehingga menunjukkan bahwa model Simulasi Monte Carlo mampu merepresentasikan karakteristik operasi pembangkit berdasarkan distribusi probabilitas data historisis (Murni & Suryanto, 2021) . Fluktuasi produksi energi yang terjadi pada setiap tahun simulasi dipengaruhi oleh karakteristik data historis yang memiliki standar deviasi sebesar 51.908.131 kWh. Nilai standar deviasi tersebut menunjukkan adanya variasi produksi yang cukup tinggi akibat perubahan kondisi hidrologi dan operasional pembangkit. Parameter evaluasi hasil simulasi ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 9. Parameter evaluasi hasil simulasi

Parameter	Hasil	Kriteria	Status	Dampak
Rata-rata Produksi Tahunan	1.431 GWh	>Target Kontrak	Terpenuhi	Keandalan Pasokan energi meningkat
Variasi Produksi	51,9 GWh	Masih dalam variasi histris	Terpenuhi	Risiko operasi PLTA KMH dapat dikendalikan
Distribusi Produksi	Mengikuti data historis	Representatif	Terpenuhi	Layak digunakan sebagai alat prediksi 30 Tahun

Copyright © 2026 the author, Page 1816
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 4, September 2026, page 1810-1820
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i4.10913

3.8.2 Pembahasan *Capacity Factor*

Capacity Factor merupakan indikator utama yang menunjukkan tingkat pemanfaatan kapasitas terpasang pembangkit. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh rata-rata *Capacity Factor* sebesar 46,68% dengan nilai maksimum mencapai 92,22% dan minimum 14,91%. Berdasarkan standar operasi PLTA, kategori *Capacity Factor* dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 10. Klasifikasi *Capacity Factor*

Capacity Factor	Kategori
<30%	Rendah
30-50%	Sedang
>50%	Tinggi

Hasil simulasi menunjukkan sebagian besar tahun berada pada kategori Sedang hingga Tinggi, sedangkan beberapa tahun mengalami penurunan akibat kondisi hidrologi. Parameter evaluasi ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 11. Evaluasi terhadap CF PLTA KMH

Paremeter	Nilai	Target	Status	Dampak
CF Rata-rata	46,68%	>40%	Memenuhi	Operasi cukup optiml
CF Maksimum	92,22%	<100%	Memenuhi	Pemanfaatan unit sangat baik
CF Minimum	14.91%	>20%	Tidak Memenuhi	Produksi turun akibat debit rendah

Nilai CF rata-rata menunjukkan bahwa PLTA masih mampu memanfaatkan kapasitas terpasang secara cukup optimal. Namun demikian, adanya beberapa periode dengan CF sangat rendah menunjukkan bahwa produksi energi masih dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti curah hujan, debit air sungai, maintenance, permintaan Dispatcher UIP3BS, serta Rencana Operasi Bulanan (ROB) (Utiarahman et al., 2024) .

3.8.3 Pembahasan Target *Take or Pay*

Dalam kontrak jual beli tenaga listrik, PLTA Kerinci Merangin memiliki target produksi sebesar 1.280 GWh/tahun. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sebagian besar tahun simulasi mampu memenuhi target tersebut.Namun demikian terdapat 7 tahun dimana produksi energi berada di bawah target kontrak. Parameter evaluasi ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 12. Parameter *Take or Pay*

Parameter	Nilai
Target *Take or Pay*	1.280 GWh
Tahun Memenuhi Target	23 Tahun
Tahun Tidak Memenuhi	7 Tahun
Tingkat Keberhasilan	76,67%

Hasil tersebut menunjukkan bahwa secara umum PLTA Kerinci Merangin memiliki tingkat keberhasilan yang tinggi dalam memenuhi target kontrak, namun risiko kegagalan produksi tetap ada akibat kondisi hidrologi yang sulit diprediksi (Asriningati & Suryanto, 2022). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Simulasi Monte Carlo mampu digunakan untuk memprediksi produksi energi PLTA Kerinci Merangin dalam jangka panjang dengan mempertimbangkan ketidakpastian yang terdapat pada data historis. Berdasarkan 360 iterasi yang merepresentasikan 30 tahun operasi, diperoleh total produksi energi sebesar 42.950.284.934 kWh, dengan rata-rata produksi tahunan sebesar 1.431.676.164 kWh dan rata-rata produksi bulanan sebesar 119.306.347 kWh. Hasil tersebut menunjukkan bahwa produksi energi PLTA cenderung berada pada kisaran tertentu, meskipun mengalami fluktuasi antarperiode. Variasi produksi energi dalam hasil simulasi berkaitan dengan karakteristik operasi PLTA yang sangat bergantung pada ketersediaan sumber daya air. Perubahan debit air sungai, curah hujan, dan tinggi muka air waduk dapat menyebabkan perubahan jumlah energi yang mampu dihasilkan (Malik & Ihsanto, 2023) . Selain faktor hidrologi, availability unit, jadwal maintenance, forced outage, serta dispatch PLN juga dapat memengaruhi tingkat produksi energi. Oleh karena itu, fluktuasi hasil simulasi mencerminkan kondisi operasi PLTA yang tidak sepenuhnya konstan dan dipengaruhi oleh kombinasi faktor teknis maupun lingkungan (Lindawati et al., 2021) .

Berdasarkan hasil perhitungan, rata-rata Capacity Factor (CF) sebesar 46,68%, dengan nilai maksimum 92,22% dan minimum 14,91%. Perbedaan nilai tersebut menunjukkan adanya variasi tingkat pemanfaatan kapasitas pembangkit selama periode simulasi. Nilai CF yang tinggi menggambarkan kondisi operasi ketika pembangkit mampu memanfaatkan kapasitasnya secara optimal, sedangkan nilai yang rendah menunjukkan adanya keterbatasan produksi akibat kondisi hidrologi, pemeliharaan, gangguan unit, atau faktor operasional lainnya (Malik et al., 2023) . Dengan demikian, Capacity Factor dapat digunakan sebagai salah satu indikator untuk mengevaluasi tingkat pemanfaatan dan kinerja PLTA. Evaluasi terhadap skema Take or Pay menunjukkan bahwa sebagian besar hasil simulasi mampu memenuhi target produksi yang ditetapkan (Fitri et al., 2023) . Namun, terdapat tujuh tahun yang diprediksi menghasilkan energi di bawah target. Kondisi tersebut menunjukkan adanya risiko ketidaktercapaian target produksi yang perlu diperhatikan dalam perencanaan operasi

This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 4, September 2026, page 1810-1820
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i4.10913

PLTA. Potensi penurunan produksi dapat disebabkan oleh kondisi hidrologi yang kurang mendukung, penurunan debit air, maupun gangguan dan keterbatasan availability pembangkit (Ernest Putra et al., 2023) .

Hasil penelitian memberikan dampak terhadap perencanaan dan pengelolaan operasi PLTA Kerinci Merangin, khususnya dalam memperkirakan potensi produksi energi pada jangka panjang. Informasi hasil simulasi selama 30 tahun dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan strategi operasi pembangkit dengan mempertimbangkan variasi produksi yang mungkin terjadi (Sofyan & Sudana, 2022) . Dengan adanya estimasi tersebut, pengelola dapat mengantisipasi periode dengan potensi produksi rendah dan menyesuaikan pola operasi agar pemanfaatan sumber daya air menjadi lebih optimal (Palintin et al., 2020) .

Dari sisi pemeliharaan, variasi Capacity Factor dan produksi energi menunjukkan pentingnya menjaga availability unit pembangkit. Kondisi unit yang mengalami gangguan atau downtime dapat memperbesar risiko penurunan produksi dan menyebabkan target energi tidak tercapai (Su et al., 2023) . Oleh karena itu, penerapan preventive dan predictive maintenance dapat menjadi strategi untuk mengurangi forced outage, meningkatkan keandalan peralatan, serta mempertahankan kemampuan pembangkit dalam menghasilkan energi secara optimal.

Hasil penelitian juga berdampak pada pengelolaan risiko kontrak Take or Pay. Adanya tujuh tahun yang diprediksi berada di bawah target menunjukkan bahwa ketidakpastian produksi perlu dipertimbangkan dalam perencanaan pemenuhan kontrak. Hasil simulasi dapat digunakan untuk mengidentifikasi periode dengan risiko produksi rendah sehingga pengelola dapat menyiapkan strategi mitigasi, baik melalui optimalisasi operasi waduk, peningkatan availability unit, maupun penyesuaian strategi pengelolaan energi (Fang et al., 2024) . Selain itu, penelitian ini memberikan dampak terhadap pengelolaan sumber daya air. Ketergantungan produksi energi terhadap kondisi hidrologi menunjukkan bahwa pengaturan debit air dan pola operasi waduk perlu dilakukan secara lebih terencana. Pemanfaatan data curah hujan, inflow, dan tinggi muka air waduk secara terintegrasi dapat meningkatkan akurasi prediksi serta membantu menentukan strategi operasi yang lebih adaptif terhadap perubahan kondisi hidrologi (Malik et al., 2024) .

Secara keseluruhan, penerapan Simulasi Monte Carlo memberikan dampak positif terhadap pengambilan keputusan berbasis risiko dalam pengelolaan PLTA. Model ini dapat membantu pengelola memahami kemungkinan variasi produksi, mengidentifikasi periode berisiko, serta merancang strategi operasi dan pemeliharaan yang lebih efektif. Dengan demikian, hasil penelitian tidak hanya bermanfaat sebagai prediksi produksi energi, tetapi juga dapat mendukung peningkatan keandalan pembangkit, pencapaian target produksi, dan keberlanjutan pengelolaan PLTA dalam jangka panjang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Simulasi Monte Carlo dapat memberikan gambaran mengenai kemungkinan variasi produksi energi PLTA Kerinci Merangin selama periode 30 tahun. Informasi mengenai estimasi produksi, Capacity Factor, dan potensi ketidaktercapaian target Take or Pay dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan operasi, pemeliharaan, pengelolaan sumber daya air, serta penyusunan strategi mitigasi risiko. Penerapan metode ini diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam meningkatkan keandalan dan keberlanjutan operasi PLTA.

3.9 Rekomendasi Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian, rekomendasi yang dapat diberikan meliputi optimalisasi pola operasi waduk agar pemanfaatan debit air lebih efisien, penjadwalan maintenance pada periode debit air rendah, serta peningkatan koordinasi dispatch dengan UIP3BS. Pada bidang pemeliharaan, perlu dilakukan peningkatan availability unit hingga di atas 95%, pengurangan forced outage melalui penerapan predictive maintenance, serta pengoptimalan monitoring kondisi turbin, generator, dan transformator. Dalam bidang perencanaan dan pengendalian, hasil prediksi produksi energi dapat dimanfaatkan sebagai dasar evaluasi kontrak *Take or Pay* dan penyusunan strategi mitigasi risiko pada tahun-tahun dengan potensi produksi di bawah target. Selanjutnya, penelitian mendatang disarankan untuk mengintegrasikan data hidrologi, seperti curah hujan, inflow, dan tinggi muka air waduk, ke dalam model simulasi serta menambahkan analisis ekonomi berupa *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Levelized Cost of Energy* (LCOE) untuk mengevaluasi dampak finansial variasi produksi energi. Selain itu, analisis sensitivitas terhadap perubahan iklim dan berbagai skenario operasi waduk perlu dikembangkan guna mendukung perencanaan pengelolaan PLTA dalam jangka panjang.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai Prediksi Produksi Energi Pembangkit Listrik Tenaga Air Kerinci Merangin Hidro Menggunakan Metode Simulasi Monte Carlo, maka dapat diambil metode Simulasi Monte Carlo berhasil diterapkan untuk memprediksi produksi energi listrik PLTA Kerinci Merangin selama periode 30 tahun. Model simulasi dibangun menggunakan data historis produksi energi sebagai dasar pembentukan distribusi probabilitas, distribusi kumulatif, dan pembangkitan bilangan acak. Dengan pendekatan ini diperoleh prediksi produksi energi yang mampu merepresentasikan karakteristik operasi pembangkit serta mengakomodasi ketidakpastian yang terjadi akibat variasi kondisi hidrologi dan operasional. Hasil simulasi menunjukkan bahwa produksi energi listrik PLTA Kerinci Merangin memiliki kecenderungan stabil dalam jangka panjang. Berdasarkan simulasi sebanyak 360 iterasi (30 tahun) diperoleh total prediksi produksi energi sebesar 42.950.284.934 kWh, dengan rata-rata produksi tahunan sebesar 1.431.676.164 kWh dan rata-rata produksi bulanan sebesar 119.306.347 kWh. Nilai tersebut menunjukkan bahwa secara umum pembangkit mampu mempertahankan tingkat produksi energi pada kisaran yang relatif konsisten meskipun terjadi fluktuasi setiap tahunnya.

This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License


TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 4, September 2026, page 1810-1820
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i4.10913

Pada analisis *Capacity Factor* menunjukkan bahwa tingkat pemanfaatan kapasitas pembangkit berada pada kategori baik. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh rata-rata *Capacity Factor* sebesar 46,68%, dengan nilai maksimum bulanan mencapai 92,22% dan nilai minimum bulanan sebesar 14,91%. Pada sebagian besar tahun simulasi, nilai *Capacity Factor* berada pada kategori sedang hingga tinggi, yang menunjukkan bahwa kapasitas terpasang pembangkit telah dimanfaatkan secara cukup optimal. Variasi nilai *Capacity Factor* dipengaruhi oleh kondisi hidrologi, permintaan energi dari dispatcher sistem, keandalan unit pembangkit, serta pelaksanaan pemeliharaan berkala. Secara keseluruhan, tujuan penelitian telah tercapai, yaitu menghasilkan model prediksi produksi energi listrik PLTA Kerinci Merangin menggunakan metode Simulasi Monte Carlo, mengevaluasi nilai *Capacity Factor* sebagai indikator kinerja pembangkit, serta menganalisis pencapaian target *Take or Pay* sebagai dasar evaluasi teknis dan ekonomi dalam pengoperasian pembangkit listrik tenaga air. Berdasarkan hasil tersebut, metode Simulasi Monte Carlo direkomendasikan sebagai salah satu alat pendukung pengambilan keputusan dalam perencanaan operasi jangka panjang, penyusunan strategi pemeliharaan, evaluasi kinerja pembangkit, serta pengelolaan risiko produksi energi. Selain itu, hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam perencanaan bisnis, optimalisasi pemanfaatan sumber daya air, dan peningkatan keandalan pembangkit guna mendukung pencapaian target energi baru dan terbarukan sesuai arah kebijakan KEN, RUKN, dan RUPTL PLN.

REFERENCES

Abilio Faizal, R., Author, S., & Nurpulaela, L. (2025). Analisis Efisiensi Teknis Dan Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan Homer (Studi Kasus Pltmh Pakem). *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, *13*(3s1). Https://Doi.Org/10.23960/Jitet.V13i3s1.7869

Agustian, F. A. P., & Helmizar. (2023). Analisis Potensi Daya Pada Pembangkit Unit 7 Plta Tes. *Teknosia*, *17*(1), 47–55. Https://Doi.Org/10.33369/Teknosia.V17i1.26702

Altamis, A. E., Rasyid, P. A., Arifin, A. N., & Widayoko, A. (2026). Analisis Potensi Energi Biomassa Dari Limbah Sekam Padi Menggunakan Model Stokastik (Monte-Carlo) Untuk Mendukung Ketahanan Energi Dalam Upaya Rpjpn Indonesia. *Jurnal Integrasi Sains Dan Qur'an (Jisqu)*, *5*(01), 540–550. Https://Doi.Org/10.64477/501540-550

Asriningati, A., & Suryanto, A. (2022). Desain Pemanfaatan Sistem Pembangkit Hybrid Diesel Generator-Pv Interaktif Grid. *Jurnal Teknik Elektro Uniba (Jte Uniba)*, *6*(2), 241–246. Https://Doi.Org/10.36277/Jteuniba.V6i2.160

Bolhuis, P. G., & Swenson, D. W. H. (2021). Transition Path Sampling As Markov Chain Monte Carlo Of Trajectories: Recent Algorithms, Software, Applications, And Future Outlook. *Advanced Theory And Simulations*, *4*(4). Https://Doi.Org/10.1002/Adts.202000237

Ernest Putra, W., Sukerayasa, I. W., & Dwi Giriantari, I. A. (2023). Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Di Sungai Yeh Dikis Banjar Lebah Kabupaten Tabanan. *Jurnal Spektrum*, *10*(2), 14. Https://Doi.Org/10.24843/Spektrum.2023.V10.I02.P3

Fang, R., Luo, C., Pan, Z., Li, J., Xu, F., Zheng, J., Mao, X., Wang, X., Li, R., Wei, Y., Chen, Y., & Vorobyev, A. Y. (2024). Efficient Harvesting Of Renewable Evaporative Energy From Atmospheric Air Through Hierarchical Nano/Microscale Shaping Of Air-Water Interface. *Applied Energy*, *358*, 122655. Https://Doi.Org/10.1016/J.Apenergy.2024.122655

Fitri, F., Risdhayanti, A. D., Permatasari, D. A., & Riatma, G. P. (2023). Pengaruh Sudut Propeller Jenis Pelton Terhadap Performa Pembangkit Listrik Nano Hidro Portabel Dalam Kegiatan Luar Ruangan. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, *10*(2), 164–174. Https://Doi.Org/10.33795/Elkolind.V10i2.3061

Larasari, A., Sitorus, J., Wiratama Asad, Moh. B., & Firmana, A. (2021). Tinjauan Potensi Teknis Dan Kelayakan Ekonomi Plta Pada Proyek Kerja Sama Pemerintah Dengan Badan Usaha Bendungan Merangin. *Jurnal Sumber Daya Air*, *17*(2), 95–110. Https://Doi.Org/10.32679/Jsda.V17i2.724

Lindawati, L., Sari, E. K., & Ermawati, Y. (2021). Potensi Energi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Niagara Desa Rantau Nipis Kecamatan Banding Agung Kabupaten Ogan Komering Ulu Selatan. *Jurnal Deformasi*, *6*(2), 70–79. Https://Doi.Org/10.31851/Deformasi.V6i2.6472

Malik, M. I., Adriansyah, A., & Shamsudin, A. U. (2023). Techno-Economic Analysis Utilization Of On-Grid Solar Photovoltaic Systems In Improving Energy Efficiency In Manufacturing Industries. *Journal Of Integrated And Advanced Engineering (Jiae)*, *3*(2), 101–110. Https://Doi.Org/10.51662/Jiae.V3i2.96

Malik, M. I., & Ihsanto, E. (2023). Design And Simulation High Pass Filter Second Order And C-Type Filter For Reducing Harmonics As Power Quality Repair Effort In The Automotive Industry. *Journal Of Integrated And Advanced Engineering (Jiae)*, *3*(1), 23–36. Https://Doi.Org/10.51662/Jiae.V3i1.79

Malik, M. I., Widyantoro, W., Rabbika, A. I., Yanti, Y., & Yadi, Y. (2024). Analisis Potensi Pembangkitan Listrik Tenaga Nano Hydro Di Saluran Irigasi Desa Cintaraja Tasikmalaya. *Jurnal Teknik Elektro Uniba (Jte Uniba)*, *9*(1), 540–547. Https://Doi.Org/10.36277/Jteuniba.V9i1.393

Murni, S. S., & Suryanto, A. (2021). Analisis Efisiensi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan Homer (Studi Kasus Pltmh Parakandowo Kabupaten Pekalongan). *Jurnal Listrik, Instrumentasi Dan Elektronika Terapan (Juliet)*, *1*(2). Https://Doi.Org/10.22146/Juliet.V1i2.61282

Nadhiroh, N. (2020a). Analisis Pemberitaan Potensi Angin Di Media Online Untuk Merealisasikan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Di Kabupaten Wonogiri. *Lisyabab : Jurnal Studi Islam Dan Sosial*, *1*(2), 291–302. Https://Doi.Org/10.58326/Jurnallisyabab.V1i2.56

This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License


TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 4, September 2026, page 1810-1820
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i4.10913

Nadhiroh, N. (2020b). Analisis Pemberitaan Potensi Angin Di Media Online Untuk Merealisasikan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Di Kabupaten Wonogiri. *Lisyabab : Jurnal Studi Islam Dan Sosial*, *1*(2), 291–302. Https://Doi.Org/10.58326/Jurnallisyabab.V1i2.56

Palintin, A., Patandianan, E., & Bawan, E. (2020). Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Di Kabupaten Pegunungan Arfak. *Igya Ser Hanjop: Jurnal Pembangunan Berkelanjutan*, *2*(1), 11–24. Https://Doi.Org/10.47039/Ish.2.2020.11-24

Rahayu, L. N., & Windarta, J. (2022). Tinjauan Potensi Dan Kebijakan Pengembangan Plta Dan Pltmh Di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, *3*(2), 88–98. Https://Doi.Org/10.14710/Jebt.2022.13327

Rosiani, D., Indayani, R., Cycilia Rymoza, V., & Setyo Rahayu, T. (2024). Estimasi Potensi Cadangan Energi Panas Bumi Lapangan Z Menggunakan Simulasi Stochastic Monte Carlo. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Dan Mineral*, *4*(1), 931–937. Https://Doi.Org/10.53026/Prosidingsntem.V4i1.357

Sofyan, Moh., & Sudana, I. M. (2022). Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Berdasarkan Debit Air Dan Kebutuhan Energi Listrik. *Jurnal Listrik, Instrumentasi, Dan Elektronika Terapan*, *3*(2). Https://Doi.Org/10.22146/Juliet.V3i2.64410

Su, H., Nilghaz, A., Liu, D., Dai, L., Tian, J., Razal, J. M., Tang, K., & Li, J. (2023). Harnessing The Power Of Water: A Review Of Hydroelectric Nanogenerators. *Nano Energy*, *116*, 108819. Https://Doi.Org/10.1016/J.Nanoen.2023.108819

Tama, M. Z. V., & Subekti, H. (2025). Simulasi Monte Carlo Berbasis Python Untuk Estimasi Sumber Daya Panas Bumi Dengan Metode Volumetrik Di Lapangan Z. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Dan Mineral*, *5*(1), 1505–1515. Https://Doi.Org/10.53026/Prosidingsntem.V5i1.734

Utiarahman, D. F., Labdul, B. Y., & Alitu, A. (2024). Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air (Plta) Pada Bendungan Bulango Ulu Kabupaten Bone Bolango. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*. Https://Doi.Org/10.56860/Jtsda.V4i1.58

Yana, S., Ibrahim, N., Afrizal Zubir, A., Zulfikar, T., & Yulisma, A. (2022). Dampak Ekspansi Biomassa Sebagai Energi Terbarukan: Kasus Energi Terbarukan Indonesia. *Jurnal Serambi Engineering*, *Vii*(4), 4036–4050. Https://Www.Bps.Go.Id/Indicator/7/1808/1/Intensitas-

Zaini, M., Safrudin, S., & Bachrudin, Moh. (2020). Perancangan Sistem Monitoring Tegangan, Arus Dan Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Berbasis Iot. *Tesla: Jurnal Teknik Elektro*, *22*(2), 139. Https://Doi.Org/10.24912/Tesla.V0i0.9081

This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License