Science and Education Journal
Vol 5 No 2 (2026)
E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Analisis Kinerja Operasional Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro Besai Kemu Berdasarkan Data Produksi Listrik Dan Variasi Debit Air

Ni Komang Putri Maharani Indraswari Marya[1], I Wayan Sukadana[2], I Wayan Suriana[3], Agus Putu Abiyasa[4]
[1]Universitas Pendidikan Nasional, indraswarimarya@gmail.com
[2]Universitas Pendidikan Nasional, sukadana@undiknas.ac.id
[3]Universitas Pendidikan Nasional, wayansuriana@undiknas.ac.id
[4]Universitas Pendidikan Nasional, abiyasa@undiknas.ac.id

Abstrak

Indonesia memiliki potensi energi air yang besar sebagai bagian dari pengembangan energi terbarukan nasional, salah satunya dimanfaatkan melalui PLTM Besai Kemu berkapasitas 2 x 3,5 MW yang berada di Provinsi Lampung. Namun, didalam operasional pembangkit sangat dipengaruhi fluktuasi debit sungai dan belum didukung analisis kinerja berbasis data yang komprehensif. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja operasional PLTM berdasarkan data historis produksi listrik dan debit air menggunakan metode deskriptif kuantitatif, regresi linear, serta analisis efisiensi energi. Hasil menunjukkan produksi maksimum pembangkit sebesar 189.447,40 kWh/hari dan minimum 0 kWh/hari dengan rata-rata 131.173,60 kWh/hari atau 61,83% dari kapasitas terpasang, serta standar deviasi 39.429,94 kWh yang menandakan fluktuasi tinggi. Model regresi menghasilkan persamaan Y = 10.052X – 29.781 dengan koefisien determinasi (R^2) 0,5863, yang berarti 58,63% variasi produksi secara langsung dipengaruhi oleh perubahan debit air. Selain itu, tingkat efisiensi energi pembangkit berfluktuasi pada rentang 27,76%–99,89% dengan nilai rata-rata 78,96%. Secara keseluruhan, PLTM Besai Kemu menunjukkan kinerja operasional dan tingkat efisiensi yang tergolong baik sesuai standar.

Kata Kunci: *Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro, Debit Air, Efisiensi, Regresi Linier*

Abstract

Indonesia has substantial hydropower potential as part of its national renewable energy development, which is utilized, among others, by the Besai Kemu Mini Hydropower Plant (PLTM) with a capacity of 2 x 3,5 MW located in Lampung Province. However, the plant's operation is highly dependent on river flow fluctuations and lacks a comprehensive, data-driven performance analysis. This study aims to evaluate the operational performance of the PLTM based on historical data of electricity production and flow rate, employing quantitative descriptive methods, linear regression, and energy efficiency analysis. The results show that the plant's maximum production reached 189.447,40 kWh/day and a minimum of 0 kWh/day, with an average of 131.173,60 kWh/day (61,83% of the installed capacity) and a standard deviation of 39.429,94 kWh, indicating high fluctuation. The regression model generated the equation Y = 10.052X – 29.781 with a coefficient of determination (R^2) of 0,5863, meaning that 58,63% of the production variation is directly influenced by changes in flow rate. Furthermore, the plant's energy efficiency level fluctuates within the range of 27,76% to 99,89%, with an average value of 78,96%. Overall, the Besai Kemu PLTM demonstrates operational performance and efficiency levels that are classified as good and in accordance with standard criteria.

Keywords: *Mini Hydropower Plant, Flow Rate, Efficiency, Linear Regression*

Corresponding Author:
Ni Komang Putri Maharani Indraswari Marya

Universitas Pendidikan Nasional, indraswarimarya@gmail.com

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

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang besar, khususnya energi air yang didukung oleh banyaknya sungai dan kondisi topografi berbukit. Salah satu wujud implementasi sumber daya air sebagai energi kelistrikan direalisasikan melalui pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) untuk kapasitas berskala besar, serta Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) yang memiliki kapasitas produksi daya lebih kecil(Rahayu & Windarta, 2022). Secara teknis, kinerja PLTM sangat bergantung pada kontinuitas debit air dan ketinggian jatuh air (head). Proses konversi energi diawali dengan pengaliran air dengan debit tertentu melalui pipa pesat menuju rumah pembangkit (powerhouse) (Umurani et al., 2020). Besarnya energi potensial yang tersedia dipengaruhi oleh kombinasi antara debit aliran dan tinggi jatuh air. Energi potensial tersebut dimanfaatkan untuk memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik, yang selanjutnya diteruskan ke generator untuk diubah menjadi energi listrik (Putra et al., 2018).

Sebagai salah satu wujud implementasi energi terbarukan di Provinsi Lampung, PLTM Besai Kemu yang resmi beroperasi pada Februari 2024 hadir untuk memanfaatkan aliran Sungai Way Besai. Dengan kapasitas terpasang 2 x 3,5 MW dan proyeksi produksi energi hijau mencapai 39 GWh per tahun, pembangkit ini memegang peranan penting sebagai salah satu penyokong utama sistem kelistrikan di daerah tersebut. Dalam praktiknya, operasional PLTM Besai Kemu menghadapi tantangan besar berupa tingginya ketergantungan pada fluktuasi debit air sungai. Penurunan debit aliran yang drastis dapat menyebabkan volume air reservoir tidak mencukupi, sehingga memaksa pembangkit menurunkan kapasitas produksi atau bahkan menghentikan putaran turbin sama sekali (Murni & Suryanto, 2021). Masalah teknis ini diperparah oleh minimnya analisis prediktif berbasis data. Selama ini, evaluasi log sheet harian hanya sebatas pencatatan administratif konvensional yang tidak memetakan hubungan kausalitas antara ketersediaan debit, angka produksi listrik, dan tingkat efisiensi mesin. Akibatnya, manajemen kesulitan mengambil keputusan yang cepat dan tepat, baik untuk optimalisasi beban maupun perencanaan pemeliharaan aset (Rahmadani et al., 2022).

Untuk menjawab permasalahan tersebut, penelitian ini menawarkan solusi berupa evaluasi kinerja operasional PLTM Besai Kemu menggunakan pendekatan pengolahan data riwayat (historical data) yang terukur. Analisis ini dibagi ke dalam tiga tahap pemecahan masalah: (1) pemetaan tren dan stabilitas operasional melalui statistik deskriptif data produksi listrik; (2) penerapan uji regresi linear untuk mengetahui seberapa besar pengaruh nyata perubahan debit air terhadap output energi; dan (3) kalkulasi efisiensi energi untuk menilai keandalan sistem turbin-generator secara aktual. Pendekatan ini dirancang untuk menghasilkan rekomendasi perlakuan berbasis data yang mampu memperbaiki strategi operasional pembangkit di masa mendatang.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji faktor-faktor penentu kinerja operasional pembangkit listrik tenaga air dari berbagai pendekatan. Melalui penelitian, (Sukur & Djamalu, 2023) membuktikan bahwa stabilitas keluaran daya PLTM sangat sensitif terhadap perubahan parameter mekanis dan hidraulik, di mana fluktuasi kecil pada tekanan penstock maupun bukaan guidevane dapat berdampak signifikan terhadap produksi listrik. Sejalan dengan hal tersebut, penelitian (Okinawa, 2022) melalui pengujian eksperimental berbasis purwarupa menegaskan bahwa volume debit air memiliki korelasi yang berbanding lurus dengan peningkatan daya turbin, menjadikannya variabel utama dalam menentukan kinerja pembangkit. Di sisi lain, studi penelitian (Sauri et al., 2022) pada PLTA berskala besar memperlihatkan bahwa variasi debit dan head secara langsung memengaruhi fluktuasi tingkat efisiensi mesin turbin dari waktu ke waktu. Meskipun demikian, penelitian mengenai evaluasi secara komprehensif berdasarkan data riwayat produksi aktual, fluktuasi pasokan air, dan perhitungan efisiensi pada PLTM masih sangat

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

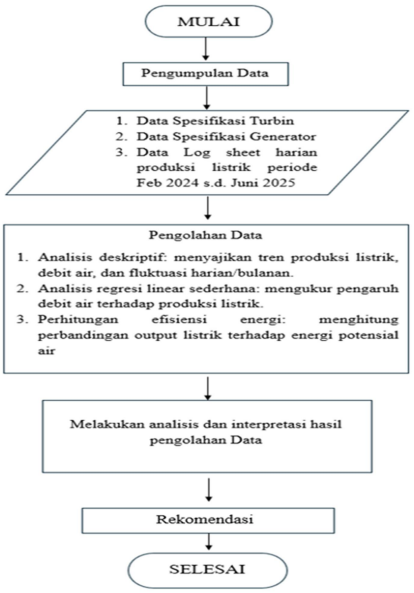
terbatas. Melalui studi kasus PLTM Besai Kemu, penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran mengenai performa pembangkit minihidro di kondisi operasional nyata, sekaligus berkontribusi terhadap pengembangan sistem energi terbarukan yang semakin andal dan berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini menerapkan metode deskriptif kuantitatif melalui pendekatan studi kasus pada PLTM Besai Kemu. Pendekatan ini dipilih karena evaluasi kinerja operasional pembangkit sangat bergantung pada analisis data numerik berupa data produksi listrik dan debit air (Waruwu & others, 2023). Dengan memanfaatkan data statistik dari log sheet operasional, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi tren produksi, menganalisis pengaruh fluktuasi debit air terhadap output listrik yang dihasilkan, serta mengukur tingkat efisiensi aktual dari operasional pembangkit berdasarkan pola dan kecenderungan antarvariabel tersebut.

Penelitian dilaksanakan di PLTM Besai Kemu yang berlokasi di Desa Kemu, Kecamatan Banjit, Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung, pada periode Juli hingga Desember 2025. Data yang dianalisis mencakup histori produksi listrik sejak Februari 2024 hingga Juli 2025. tSumber data yang digunakan terdiri atas data primer dan sekunder, serta mencakup data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif meliputi spesifikasi teknis pembangkit (kapasitas terpasang, head efektif, spesifikasi turbin dan generator), data produksi listrik (kWh), serta data debit air (m^3/s). Sementara itu, data kualitatif diperoleh melalui wawancara dan observasi terkait kondisi operasional pembangkit.

Keseluruhan tahapan penelitian dijelaskan dalam diagram alir pada Gambar 1 yang menggambarkan proses analisis kinerja sistem beserta evaluasinya. Proses penelitian diawali dengan pengolahan data historis produksi listrik dan debit air melalui pendekatan deskriptif untuk mengidentifikasi pola, nilai rata-rata, tingkat fluktuasi, serta faktor kapasitas pembangkit. Tahap selanjutnya yaitu perhitungan regresi linear sederhana untuk menganalisis hubungan dan pengaruh debit air terhadap produksi energi berdasarkan persamaan regresi dan koefisien determinasi (Wijaya et al., 2024). Setelah itu dilakukan evaluasi efisiensi dengan membandingkan daya output aktual terhadap daya hidrologi sesuai parameter teknis pembangkit.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

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

Setiap tahap pengolahan data dirancang untuk menjawab rumusan masalah penelitian serta mendukung pencapaian tujuan yang telah ditetapkan. Hasil analisis data kemudian diintegrasikan untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai kinerja operasional PLTM Besai Kemu. Adapun pengolahan data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Pengolahan Data Historis Produksi Listrik

Data historis produksi listrik (kWh) dan debit air (m^3/s) dari log sheet harian PLTM Besai Kemu terlebih dahulu diolah dan disajikan dalam bentuk grafik untuk menampilkan pola perubahan energi dari waktu ke waktu. Melalui analisis deskriptif ini ditentukan nilai maksimum, minimum, rata-rata, serta standar deviasi untuk menilai tingkat fluktuasi dan kestabilan produksi. Secara matematis, nilai rata-rata dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$x = \frac{\sum xi}{n} \quad (1)$$

Keterangan:
x = nilai rata -rata produksi energi
xi= nilai data ke-i (produksi energi)
n = jumlah data

Energi maksimum yang dapat dibangkitkan saat unit beroperasi pada kapasitas penuh dibandingkan dengan energi aktual untuk menentukan faktor kapasitas sebagai ukuran pemanfaatan pembangkit. Secara matematis, faktor kapasitas dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$CF = \frac{Eaktual}{Emaksimum} x\ 100\% \quad (2)$$

$$CF = \frac{Eaktual}{Pterpasang\ x\ t} x\ 100\%$$

Keterangan:
CF = faktor kapasitas;
Eaktual = energi listrik aktual yang dihasilkan (kWh);
Emaksimum= energi listrik maksimum sesuai kapasitas terpasang (kWh);
Pterpasang = kapasitas terpasang pembangkit (Kw);
t = periode atau waktu operasi (jam)

Standar deviasi merupakan ukuran statistik untuk menilai tingkat variasi data terhadap rata-ratanya. Dalam evaluasi kinerja PLTM, parameter ini digunakan untuk mengukur kestabilan produksi energi; nilai yang kecil menunjukkan operasi yang stabil, sedangkan nilai besar menandakan fluktuasi signifikan akibat variasi debit atau gangguan operasional. Secara matematis, standar deviasi dinyatakan dalam bentuk persamaan.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_i^n (xi - x)^2} \quad (3)$$

Keterangan:
σ = standar deviasi;
xi= nilai data ke-i (produksi energi);
x = nilai rata -rata produksi energi;
n = jumlah data

b. Pengolahan Data Hubungan Debit Air dan Produksi

Tahap selanjutnya adalah menganalisis keterkaitan antara debit air (variabel independen, X) dan produksi listrik (variabel dependen, Y) menggunakan regresi linear sederhana (Nurhaswinda et al., 2025). Metode ini dipilih untuk mengukur

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

besarnya pengaruh debit terhadap output energi serta menentukan koefisien determinasi untuk mengetahui seberapa besar variasi produksi dapat dijelaskan oleh perubahan debit. Pendekatan ini sesuai dengan prinsip dasar energi air, di mana daya berbanding lurus dengan debit pada kondisi head dan efisiensi relatif konstan, sehingga memungkinkan evaluasi sensitivitas kinerja PLTM terhadap fluktuasi debit air.

$$Y = a + bx \quad (4)$$

Keterangan:
Y = nilai yang diukur (produksi listrik)
X = nilai tertentu dari variable bebas (debit air)
a = intersep/ konstanta (nilai Y Ketika X =0)
b = koefisien regresi (besarnya pengaruh x terhadap y kalau x naik satu unit)

Koefisien regresi (b) merepresentasikan besarnya perubahan produksi listrik akibat variasi debit air, sedangkan konstanta (a) menunjukkan nilai produksi saat debit bernilai nol secara matematis. Nilai koefisien tersebut ditentukan dengan metode kuadrat terkecil untuk meminimalkan selisih antara data aktual dan prediksi, yang dinyatakan dalam bentuk persamaan matematis sebagai berikut:

$$b = \frac{n\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{n\sum X^2 - (\sum X^2)} \quad (5)$$
$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

Tingkat hubungan antara debit air dan produksi listrik dianalisis melalui koefisien determinasi (R^2), yang menggambarkan proporsi variasi produksi listrik yang dapat dijelaskan oleh debit air dalam model regresi. Nilai R^2 berkisar 0–1; semakin mendekati 1, semakin kuat keterkaitannya, dan dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$R^2 = \frac{(n\sum XY - (\sum X)(\sum Y))^2}{(n\sum X^2 - (\sum X^2))^2((n\sum Y^2 - (\sum Y^2))^2} \quad (6)$$

c. Pengolahan Data Efisiensi PLTM

Analisis efisiensi energi pada PLTM Besai Kemu dilakukan untuk mengetahui seberapa optimal sistem pembangkit dalam mengubah energi potensial air menjadi energi listrik. Adapun untuk mendapatkan nilai daya masukan (Phidrologi) dapat dirumuskan sebagai berikut (Suryaman et al., 2023).

$$Phidrologi = \rho \, . g \, . h . Q \quad (7)$$

Keterangan:
Phidrologi = Daya Masukan (Watt)
ρ = Massa jenis fluida air (1.000 kg/m3)
g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s2)
h = Ketinggian (m)
Q = Debit air (m3/s)

Selanjutnya, data efisiensi PLTM Besai Kemu dilakukan dengan membandingkan daya output aktual terhadap daya hidrologi menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\eta t = \frac{\text{Poutput}}{\text{Phidrologi}} \; x \; 100(\%) \quad (8)$$

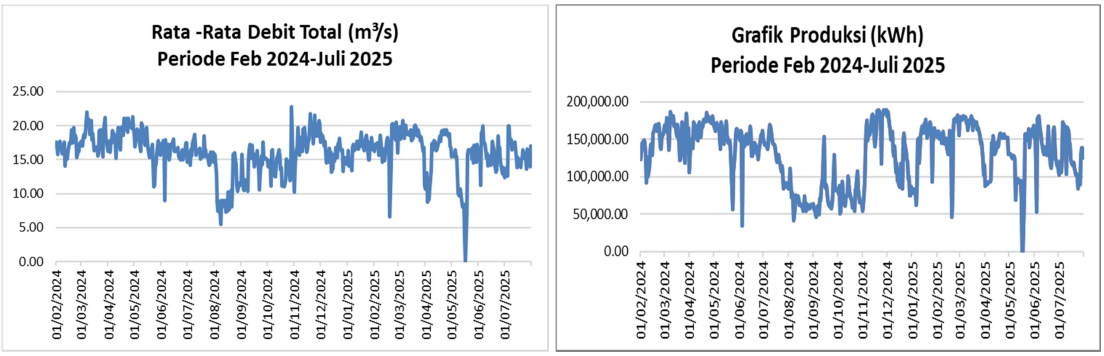
E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Eksisting PLTM Besai Kemu

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Besai Kemu yang terletak di Kabupaten Way Kanan, Lampung, telah beroperasi sejak Februari 2024 dengan memanfaatkan aliran Sungai Way Besai. Pembangkit ini bekerja dengan mengubah energi potensial air menjadi energi listrik melalui sistem terintegrasi, yang diawali dengan penggunaan turbin buatan Global Hydro Energy asal Austria. Turbin tersebut dirancang untuk beroperasi pada ketinggian jatuh air (head) 43,1 meter dan debit 9,57 m^3/s untuk menghasilkan daya mekanik sebesar 3.803 kW per unit, sejalan dengan kapasitas terpasang pembangkit yang mencapai 2 x 3,5 MW. Energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin kemudian dikonversi menjadi energi listrik menggunakan generator sinkron tiga fasa berkapasitas 5200 kVA buatan Indar, Spanyol. Generator ini dikopel langsung dengan turbin pada kecepatan 500 rpm untuk menghasilkan tegangan awal sebesar 6,3 kV. Sebelum disalurkan ke sistem jaringan distribusi gardu induk, tegangan listrik tersebut dinaikkan terlebih dahulu menjadi 20 kV melalui transformator step-up, sementara total produksi energi hariannya dicatat secara akurat menggunakan kWh meter pembanding.

Penelitian ini menggunakan data historis operasional PLTM Besai Kemu berupa produksi energi listrik harian (kWh) dan debit air (m^3/s) tiap unit. Pengukuran debit dilakukan dua kali sehari, pukul 00.00 dan 12.00, kemudian dihitung rata-rata hariannya dengan metode aritmatika sederhana. Debit total pembangkit diperoleh dari akumulasi debit unit 1 dan unit 2. Selama periode pengamatan, terdapat variasi kondisi operasi yang ditandai dengan munculnya debit nol pada salah satu atau kedua unit. Oleh karena itu, data dikelompokkan menjadi tiga kondisi operasi, yaitu dua unit beroperasi, satu unit beroperasi, dan kedua unit tidak beroperasi sebagai dasar analisis kinerja dan efisiensi pembangkit.



Gambar 2. Grafik Rata-Rata Debit Air dan Produksi Listrik

Grafik rata-rata debit total periode Februari 2024 hingga Juli 2025 menunjukkan fluktuasi yang dinamis, dengan kisaran umum sekitar 10–22 m^3/s dan nilai dominan pada rentang 15–20 m^3/s. Pada awal pengamatan debit relatif stabil, kemudian mengalami penurunan signifikan di pertengahan 2024 hingga beberapa kali berada di bawah 10 m^3/s, yang mengindikasikan berkurangnya ketersediaan air dan potensi penurunan kapasitas produksi. Pada beberapa periode juga tercatat debit mendekati nol, yang menunjukkan penghentian operasi atau beroperasinya sebagian unit akibat keterbatasan aliran maupun faktor teknis lainnya.

Data hasil produksi PLTM Besai Kemu tertera pada gambar 1 dapat diperoleh dari pencatatan kWh meter pada busbar 20 kV setiap pukul 10.00 pagi, sebelum daya didistribusikan ke Gardu Induk. Sepanjang periode pemantauan dari Februari 2024 hingga Juli 2025, angka produksi harian menunjukkan fluktuasi yang cukup tajam di kisaran 50.000 hingga 190.000 kWh. Tren produksi tersebut diawali dengan performa yang cukup tinggi, kemudian sempat mengalami penurunan signifikan pada pertengahan tahun 2024,

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

sebelum akhirnya kembali meningkat dan stabil pada akhir 2024 hingga awal tahun 2025. Pada beberapa periode tertentu, produksi bahkan turun hingga mendekati nol, yang mengindikasikan penghentian operasi atau hanya sebagian unit yang beroperasi akibat keterbatasan debit air maupun kendala teknis lainnya. Secara umum, pola fluktuasi produksi listrik menunjukkan keterkaitan yang erat dengan perubahan debit air, di mana peningkatan atau penurunan debit cenderung diikuti oleh perubahan produksi energi yang searah.

Analisis Kinerja Operasional Berdasarkan Data Produksi Listrik

Analisis kinerja operasional PLTM Besai Kemu dilakukan menggunakan data historis produksi energi listrik selama periode Februari 2024 hingga Juli 2025. Berdasarkan data tersebut, tingkat produksi harian pembangkit tercatat mampu menyentuh angka maksimum sebesar 189.447,40 kWh, namun juga sempat menyentuh nilai minimum 0 kWh karena keterbatasa debit air atau faktor teknis seperti pemeliharaan dan gangguan. Selanjutnya, untuk memperoleh nilai rata-rata selama periode pengamatan dapat dihitung dengan persamaan (1), dimana hasil yang didapatkan nilai rata -rata produksi sebesar 131.173,60 kWh/hari. Nilai Rata-rata produksi kemudian dibandingkan dengan potensi energi maksimum berdasarkan kapasitas generator terpasang dengan menggunakan persamaan (2).

$$P/\text{unit}=5.200 \text{ x } 0{,}85=4.420 \text{ kW}$$

$$P\text{terpasang}=2 \text{ x } 4.420=8.840 \text{ kW}$$

$$E\text{maksimum}=8.840 \text{ x } 24= 212.160{,}00 \text{ kWh}$$

$$CF= \frac{\text{Eaktual}}{\text{Emaksimum}} \text{x } 100\%$$

$$CF= \frac{131.173{,}60}{212.160{,}00} \text{x } 100\%$$

$$CF= 61{,}83\%$$

Nilai tersebut menunjukkan bahwa pembangkit tidak beroperasi pada kapasitas penuh secara berkelanjutan akibat fluktuasi debit air dan pola pengoperasian unit, selanjutnya tingkat variasi produksi dianalisis melalui perhitungan standar deviasi menggunakan persamaan (3).

$$\sigma=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i}^{n}(xi\text{-}x)^2}$$

a. Menentukan selisih antara data ke-i dengan nilai rata-rata

   $x1$ = 123.400,54

   x = 131.173,60

   $x1 - x = 123.400{,}54 - 131.173{,}60$

   $x = -7.773{,}06$

b. Kuadratkan hasil selisih poin a

   $(x1\text{-}x)^2 = (-7.773{,}06)^2$

   $=60.420.459{,}48$

c. Lakukan langkah poin a dan b untuk seluruh data dan jumlahkan hasil dari poin b untuk seluruh data

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

$\sum_{1}^{547}(x1\text{-}x)^2 = 850.431.808.896,25$

d. Membagi hasil dari poin C dengan jumlah data

$$\frac{1}{547}\sum_{1}^{547}(x1\text{-}x)^2 = \frac{850.431.808.896,25}{547}$$

$$= 1.554.719.943,14$$

e. Hasil dari poin d diakarkan untuk memperoleh nilai standar deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{547}\sum_{1}^{547}(x1\text{-}x)^2}$$

$$\sigma = \sqrt{1.554.719.943,14}$$

$$\sigma = 39.429,94$$

Hasil perhitungan menunjukkan standar deviasi produksi sebesar 39.429,94 kWh. Tingginya variasi ini sangat dipengaruhi oleh ketersediaan debit air dan tiga pola pengoperasian dari dua unit pembangkit yang ada, yakni kondisi saat kedua unit beroperasi untuk mencapai kapasitas maksimal, kondisi hanya satu unit yang aktif, hingga kondisi keduanya berhenti (shutdown) total yang mengakibatkan produksi menurun menjadi nol. Secara keseluruhan, PLTM Besai Kemu memiliki kapasitas produksi yang baik, namun tingkat variasinya relatif tinggi karena dipengaruhi faktor hidrologi dan kebijakan operasional unit.

Analisis Pengaruh Perubahan Debit Air terhadap Kinerja Produksi Listrik

Analisis ini dilakukan untuk mengukur seberapa besar pengaruh perubahan debit air terhadap tingkat produksi listrik di PLTM Besai Kemu dengan pendekatan regresi linear. Dimana debit total harian dinyatakan debagai variabel bebas (X) dan produksi listrik harian sebagai variabel terikat (Y). Model regresi dinyatakan dalam persamaan Y = a + bX, di mana koefisien b menunjukkan perubahan produksi akibat kenaikan satu satuan debit, sedangkan konstanta a merepresentasikan nilai produksi secara matematis saat debit nol. Perhitungan dilakukan menggunakan metode kuadrat terkecil dengan 545 data observasi, melalui tabel bantu. Hasil rekapitulasi menunjukkan total debit air sebesar 8.752,94 (X) dan total produksi listrik sebesar 71.751.960,67 (Y).

Tabel 1. Tabel Bantu Perhitungan Regresi linear

RATA -RATA DEBIT TOTAL (m^3/s) ($\sum X$)	PRODUKSI (kWh) ($\sum Y$)	$\sum X^2$	$\sum Y^2$	$\sum XY$
8.752,94	71.751.960,67	145.310,61	10.262.394.989.863,80	1.199.958.454,68

Setelah nilai-nilai tersebut diperoleh, koefisien regresi (b) dan nilai konstanta (a) dihitung menggunakan persamaan (5) berikut:

$$b = \frac{n\sum XY-(\sum X)(\sum Y)}{n\sum X^2-(\sum X^2)}$$

$$b = \frac{545\sum 1.199.958.454,68-(\sum 8.752,94)(\sum 71.751.960,67)}{(545\ \sum 145.310,61)-(\sum 145.310,61)}$$

$$b = 10.051,75$$

$$Y = a + bx$$

$$-a = -Y + bx$$

$$a = Y - bX$$

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

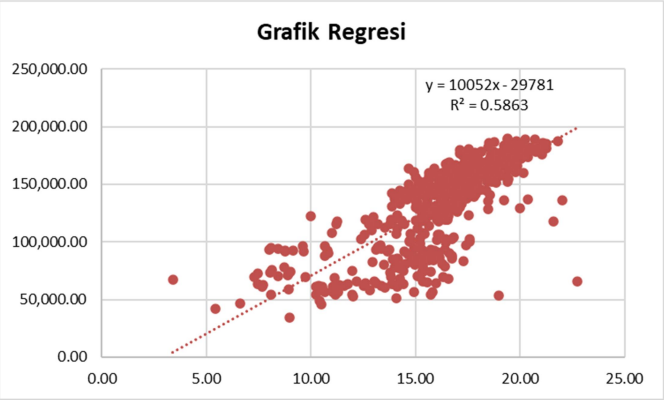
Perhitungan nilai Y dan X

$$Y = \frac{71.751.960,67}{545} = 131.654,97$$

$$X = \frac{8.752,94}{545} = 16,06$$

$$a = 131.654,97 - (10.051,75 \times 16,06)$$

$$a = -29.780,56$$



Gambar 3. Grafik Hasil Analisis Regresi Linier

Hasil analisis regresi linear antara debit air total dan produksi listrik menghasilkan persamaan Y = -29.781 + 10.052X, yang menunjukkan adanya korelasi positif di mana setiap peningkatan debit air sebesar 1 m³/s diproyeksikan akan meningkatkan produksi listrik harian sebesar 10.052 kWh. Dalam model yang divisualisasikan melalui grafik scatter plot tersebut, terdapat nilai konstanta matematis yang negatif (-29.781). Nilai ini berfungsi sebagai titik potong garis regresi pada sumbu Y untuk menggambarkan tren data di dalam rentang pengamatan, dan bukan merupakan prediksi kondisi nyata di lapangan karena secara fisik produksi listrik tidak mungkin bernilai negatif ketika pasokan debit air berada di titik nol.

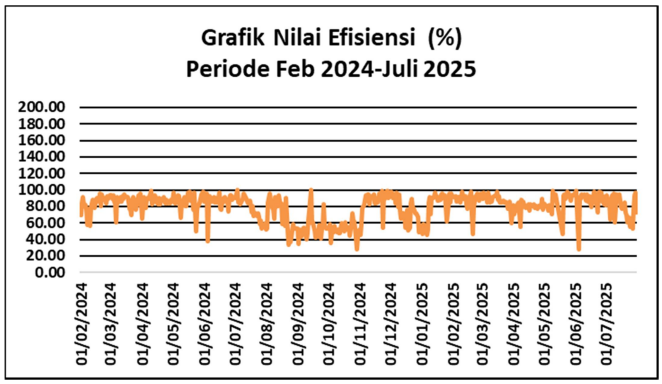
Untuk mengukur besaran pengaruh debit air terhadap tingkat produksi energi listrik, analisis ini menggunakan parameter koefisien determinasi (R^2). Hasil perhitungan berdasarkan persamaan (6) menunjukan Nilai R^2 sebesar 0,5863 mengindikasikan bahwa 58,63% variasi produksi listrik dipengaruhi oleh perubahan debit air, sedangkan 41,37% sisanya dipengaruhi faktor lain seperti pola operasi unit, perubahan head efektif, rugi-rugi sistem, serta variasi efisiensi turbin dan generator pada berbagai kondisi operasi.

Analisis Efisiensi Energi PLTM Besai Kemu dalam Mengubah Energi Potensial Air menjadi Energi Listrik

Analisis efisiensi energi pada PLTM Besai Kemu bertujuan untuk mengevaluasi performa teknis sistem turbin-generator dalam mengonversi energi potensial air menjadi energi listrik. Evaluasi ini dilakukan dengan membandingkan daya output aktual—yang dihitung dengan mengonversi total produksi listrik harian (kWh) menjadi daya rata-rata (kW)—terhadap daya hidrologi yang dihasilkan dari akumulasi debit air harian dengan menggunakan persamaan (7-8). Mengingat adanya keterbatasan data head efektif di lapangan, perhitungan ini menggunakan head nominal tetap sebesar 43,1 meter, sehingga hasil akhirnya merepresentasikan estimasi efisiensi sistem secara keseluruhan. Berdasarkan pemodelan matematis tersebut, sebagai contoh pada 1 Februari 2024 dengan pasokan debit total 17,53 m³/s dan produksi 123.400,54 kWh, pembangkit mencatatkan daya hidrologi

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

7,41 MW dan daya aktual 5,14 MW yang setara dengan tingkat efisiensi sebesar 69,37%, di mana penerapan kalkulasi serupa pada seluruh data observasi menunjukkan bahwa tren efisiensi pembangkit terus berfluktuasi di sepanjang periode pengamatan.



Gambar 4. Grafik Efisiensi Energi PLTM Besai Kemu

Berdasarkan hasil pengolahan data selama periode Februari 2024 hingga Juli 2025, tingkat efisiensi operasional PLTM Besai Kemu tercatat berfluktuasi pada rentang 27,76% hingga 99,89% dengan nilai rata-rata mencapai 78,96%. Pencapaian rata-rata tersebut mengindikasikan bahwa sistem pembangkit secara umum telah bekerja dengan cukup baik dan memenuhi standar kelayakan efisiensi untuk pembangkit berskala minihidro. Meskipun demikian, tingginya nilai standar deviasi yang berada di angka 16,09% menunjukkan adanya fluktuasi data yang cukup lebar, sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa performa operasional pembangkit pada periode pengamatan tersebut masih mengalami masih mengalami fluktuasi yang signifikan dan belum berada pada kondisi operasi yang stabil.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, kinerja operasional PLTM Besai Kemu menunjukkan kemampuan produksi maksimum 189.447,40 kWh/hari dan minimum 0 kWh/hari, dengan rata-rata 131.173,60 kWh/hari atau 61,83% dari kapasitas maksimum terpasang serta standar deviasi 39.429,94 kWh yang menandakan variasi produksi cukup tinggi. Pola operasinya terdiri dari tiga kondisi, yaitu dua unit beroperasi, satu unit beroperasi, dan keduanya berhenti. Analisis regresi linear sederhana menunjukkan hubungan positif antara debit air dan produksi listrik dengan persamaan $Y = 10.052X - 29.781$, di mana setiap kenaikan debit 1 m^3/s meningkatkan produksi sekitar 10.052 kWh/hari, serta nilai R^2 sebesar 0,5863 yang berarti 58,63% variasi produksi dipengaruhi debit air dan sisanya oleh faktor lain seperti pola operasi, head efektif, rugi-rugi, dan efisiensi peralatan. Dari sisi efisiensi energi, pembangkit memiliki rentang 27,76%–99,89% dengan rata-rata 78,96%, menunjukkan kinerja yang cukup baik dan sesuai karakteristik PLTM, namun belum sepenuhnya stabil karena masih mengalami fluktuasi yang signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

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

Nurhaswinda, N., Egistin, D. P., Rauza, M. Y., Rahma, R., Ramadhan, R. H., Ramadani, S., & Wahyuni, W. (2025). Analisis regresi linier sederhana dan penerapannya. *Jurnal Cahaya Nusantara*, *1*(2), 69–78.

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

Okinawa, O. (2022). Analisis Pengaruh Debit Air Terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). *Universitas Medan Area*. https://repositori.uma.ac.id/jspui/handle/123456789/17219

Putra, I. G. W., Weking, A. I., & Jasa, L. (2018). Analisa Pengaruh Tekanan Air Terhadap Kinerja PLTMH dengan Menggunakan Turbin Archimedes Screw. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, *17*(3), 385–392.

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

Rahmadani, A., Windarko, N. A., & Raharja, L. P. S. (2022). Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan serta Kendali Dua Heater pada Kubikel 20 kV Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, *21*(2), 219. https://doi.org/10.24843/MITE.2022.v21i02.P09

Sauri, S., Syahputra, R., Yulianto, A., Yusuf, L. O. M., Rizky, W. Y., & Ramadhan, M. H. (2022). Analisis Perhitungan Efisiensi Mesin Turbin Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di PT. Indonesia Power Unit Pembangkit PLTA Waduk Cirata. *Syntax Literate; Jurnal Ilmiah Indonesia*, *7*(9), 12603–12610.

Sukur, M. A., & Djamalu, Y. (2023). ANALISIS KINERJA SISTEM TURBIN PEMBANGKIT LISTRIKMINI HIDRO (PLTM) TALUDA'A KABUPATEN BONE BOLANGO GORONTALO. *Journal of Energy and Mechanical Engineering*, 7–11. https://doi.org/10.62299/jeme.vi.3

Suryaman, N. N., Siddiq, R. H. B. A., & Ardiansyah, N. P. (2023). Perancangan dan Analisis Daya Turbin Air Piko Hidro untuk Aliran Arus Rendah. *Jurnal Teknik Mesin*, *16*(2), 213–218.

Umurani, K., Siregar, A. M., & Al-Amin, S. (2020). Pengaruh Jumlah Sudu Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Tipe Whirlpool Terhadap Kinerja. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, *3*(2), 103–111. https://doi.org/10.30596/rmme.v3i2.5272

Waruwu, M., & others. (2023). Pendekatan penelitian pendidikan: metode penelitian kualitatif, metode penelitian kuantitatif dan metode penelitian kombinasi (Mixed Method). *Jurnal Pendidikan Tambusai*, *7*(1), 2896–2910.

Wijaya, E., Indriyati, R., Rinawati, R., Utami, R. N., Negsih, T. A., Suharyanto, S., Hermawan, E., Deseria, R., Aziza, N., Judijanto, L., & others. (2024). *Pengantar Statistika: Konsep Dasar untuk Analisis Data*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.