

# ANALISA PENGARUH KETIDAKSTABILAN DEBIT AIR DAN CURAH HUJAN TERHADAP EFISIENSI DAYA PADA PLTA

## IR. P. M. NOOR

Ahmad Sauqi<sup>1)</sup>, Zuraidah<sup>2)</sup> Fathinatush Shalihah<sup>3)</sup>

email: ahmad.d.sauqi@gmail.com, zuraidah@poliban.ac.id,  
Fathina\_shalihah@poliban.ac.id

<sup>1,2,3</sup> Teknik Elektro, Politeknik Negeri Banjarmasin

### Ringkasan

*Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Ir. P. M. Noor di Kalimantan Selatan sangat bergantung pada kestabilan debit air dan curah hujan sebagai sumber energi utama penggerak turbin. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh ketidakstabilan debit air dan curah hujan terhadap efisiensi daya PLTA tersebut. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan analisis data historis debit air, curah hujan, dan efisiensi pembangkitan listrik selama satu tahun, yang diperoleh dari PLTA Ir. P. M. Noor dan BMKG Banjarbaru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi daya bervariasi tiap bulan, dengan nilai tertinggi melebihi 99,9% (dipengaruhi oleh kondisi input-output nonlinier pada operasi aktual) dan terendah sekitar 62,26%. Fluktuasi debit air terbukti memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi daya, sedangkan curah hujan berperan secara tidak langsung melalui pengaruhnya terhadap debit air. Efisiensi cenderung menurun pada musim kemarau saat debit air tidak stabil. Temuan ini menegaskan pentingnya pengelolaan sumber daya air dan perencanaan operasional yang lebih optimal untuk menjaga kinerja pembangkit secara berkelanjutan.*

**Kata Kunci** : PLTA, debit air, curah hujan, efisiensi daya, Ir. P. M. Noor

## 1. PENDAHULUAN

Analisis terhadap pengaruh ketidakstabilan debit air dan curah hujan terhadap efisiensi daya di PLTA Ir. P. M. Noor menjadi sangat penting. Dengan memahami hubungan antara faktor-faktor tersebut, dapat dilakukan optimasi dalam pengelolaan sumber daya air untuk meningkatkan efisiensi produksi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sejauh mana ketidakstabilan debit air dan curah hujan memengaruhi efisiensi daya pada PLTA IR. P. M. NOOR, serta memberikan rekomendasi dalam upaya peningkatan performa pembangkit listrik guna mendukung kebutuhan energi yang berkelanjutan (PT PLN, 2017). Rumusan masalahnya adalah bagaimana cara menganalisa pengaruh ketidakstabilan debit air dan curah hujan terhadap efisiensi daya pada PLTA IR. P. M. NOOR. Tujuan penelitian ini untuk menganalisa efisiensi daya yang ada pada PLTA IR. P. M. NOOR dengan dipengaruhi oleh ketidakstabilan debit air dan curah hujan pada daerah tersebut.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

PLTA adalah sistem pembangkit listrik yang menggunakan energi air sebagai sumber utamanya. Energi yang dimanfaatkan terutama berupa energi potensial, yaitu energi yang berasal dari perbedaan ketinggian. Energi ini muncul ketika air mengalir dari area yang lebih tinggi ke area yang lebih rendah. Aliran air tersebut kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin yang terhubung dengan generator. Putaran dari generator inilah yang kemudian diubah menjadi energi listrik (Wahyudiana, 2019). Ketinggian jatuhnya air memiliki peran penting dalam menentukan besar daya yang dihasilkan, karena semakin tinggi air jatuh, semakin besar pula energi potensial yang terkandung di dalamnya. Menurut (Wasti *et al.*, 2022) PLTA sangat rentan terhadap perubahan iklim karena sangat bergantung pada aliran air permukaan yang stabil dalam jumlah besar.

Data curah hujan diperoleh dari Stasiun Klimatologi Kelas I Banjarbaru, yang merupakan stasiun BMKG terdekat dan relevan secara geografis dengan lokasi PLTA Ir. P. M. Noor yang terletak di Kalimantan Selatan. Stasiun ini memiliki cakupan pengamatan yang mencakup wilayah sekitar Sungai Riam Kanan sebagai sumber air utama pembangkit. Stasiun Klimatologi Banjarbaru secara konsisten melakukan pencatatan curah hujan berdasarkan pengukuran langsung di lapangan, menggunakan alat penakar hujan (ombrometer/manual dan otomatis), serta telah melalui proses validasi dan verifikasi data oleh pihak BMKG.

Menurut Permana *et al.* (2024), daya listrik yang dihasilkan oleh PLTA dapat dihitung dengan persamaan:

$$P = \eta \cdot k \cdot Q \cdot H$$

dimana:

- P = daya listrik yang dihasilkan (Watt)
- $\eta$  = efisiensi turbin dan generator
- k = percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)
- Q = debit air (m<sup>3</sup>/s)
- H = tinggi jatuh air (m)

Dengan demikian, ketidakseimbangan debit air dapat mempengaruhi jumlah energi listrik yang dihasilkan.

Jika terdapat perbedaan ketinggian antara permukaan air bagian atas dan bagian bawah dalam aliran air di dalam pipa, maka berdasarkan prinsip Bernoulli, aliran tersebut mengikuti persamaan energi, yaitu:

*W = Energi potensial + Energi kinetik + Energi tekanan yang besarnya konstan*

$$H = z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} p &= \text{Tekanan (N/m}^2\text{)} \\ z &= \text{Ketinggian (m)} \\ g &= \text{Percepatan gravitasi (m/s}^2\text{)} \\ v &= \text{Kecepatan aliran (m/s)} \end{aligned}$$

Maka head efektif adalah selisih  $H_1$  dengan  $H_2$ :

$$H_{eff} = \left( \frac{p_1 - p_2}{\rho \cdot g} \right) + \left( \frac{v_1^2 - v_2^2}{2 \cdot g} \right) + (z_1 - z_2)$$

Keterangan:

$H_{eff}$  = Head efektif (m)

$p_1$  = Tekanan permukaan air waduk (N/m<sup>2</sup>)

$p_2$  = Tekanan pada draft tube (N/m<sup>2</sup>)

$\rho$  = Massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$v_1$  = Kecepatan air di permukaan air waduk (m/s)

$v_2$  = Kecepatan air pada draft tube (m/s)

$z_1$  = Elevasi permukaan air waduk (m)

$z_2$  = Elevasi sensor tekanan draft tube (m)

Berikut adalah persamaan daya hidrolik berdasarkan persamaan head efektif:

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{eff}$$

Keterangan:

$P_h$  = Daya hidrolik (kW)

$\rho$  = Masa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = Pecepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$Q$  = Debit air (m<sup>3</sup>/s)

$H_{eff}$  = Head efektif (m)

Pada pembahasan ini, perhitungan daya turbin didasarkan pada daya generator dan efisiensi generator, dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_t = \left( \frac{P_g}{\eta_g} \right)$$

Keterangan:

$P_t$  = Daya turbin (kW)

$P_t$  = Daya Generator (kW)  
 $\eta_g$  = Efisiensi generator (%)

Adapun rumus efisiensi PLTA disajikan sebagai berikut:

$$\eta_{PLTA} = \frac{P_t}{P_h} \times 100\%$$

Keterangan:

$\eta_{PLTA}$  = Efisiensi PLTA (%)  
 $P_t$  = Daya Turbin (kW)  
 $P_h$  = Daya Hidrolik (kW)

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, yang berfokus pada pengumpulan dan analisis data numerik untuk memahami pola hubungan antara variabel penelitian. Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui observasi langsung dan studi literatur. Pengukuran dan analisis data secara statistik adalah poin utama yang menjadi elemen penting yang dimiliki dalam penelitian kuantitatif (Abdussamad *et al.*, 2019). Penelitian dilakukan di PLTA Ir. P. M. Noor, yang terletak di Tiwingan Lama, Kecamatan Aranio, Kabupaten Banjar, Kalimantan Selatan.

Penelitian ini menggunakan dua sumber data utama:

- Data yang dikumpulkan secara langsung dari PLTA Ir. P. M. Noor, meliputi:
  - Debit air harian ( $m^3/s$ )
  - Curah hujan harian (mm)
  - Efisiensi daya listrik yang dihasilkan (MW dan %)
- Studi Literatur: Data sekunder yang diperoleh dari jurnal ilmiah, laporan teknis, serta dokumen dari PLTA Ir. P. M. Noor dan BMKG Daerah terkait debit air, curah hujan, serta efisiensi PLTA.

Dalam penelitian ini terdapat tiga variabel utama:

Variabel Bebas (Independent) : Debit air ( $m^3/s$ ) dan Curah hujan (mm)  
Variabel Terikat (Dependent) : Efisiensi daya PLTA (%)

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, yang mencakup:

- Analisis Statistik Inferensial: Untuk menggambarkan pola perubahan debit air, curah hujan, dan efisiensi daya. Analisis ini mengambil data dari BMKG untuk mengetahui data curah hujan, sedangkan debit air mengambil data dari PLTA Ir. P. M. Noor. "Analisis ini berupaya untuk mengadakan penarikan kesimpulan dan membuat keputusan berdasarkan analisis yang telah dilakukan" (Muhson, 2006).
- Analisis Korelasional: "Merupakan bagian dari analisis statistik inferensial dan analisis statistik ini berusaha untuk mencari hubungan atau pengaruh antara dua buah variabel atau lebih" (Muhson, 2006). Analisis ini digunakan untuk mengetahui hubungan antara debit air, curah hujan, dan efisiensi daya.
- Analisis Regresi: "Persamaan matematis yang memprediksi nilai variabel tak bebas dari nilai variabel bebas. Dalam regresi pasti ada variabel yang ditentukan dan variabel yang menentukan, atau dengan kata lain ada ketergantungan satu variabel dengan variabel lainnya" (Syafitri, 2022). Analisis Regresi ini untuk menentukan pengaruh debit air dan curah hujan terhadap efisiensi daya PLTA.

Untuk metode analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode analisis korelasional. Hasil analisis akan disajikan dalam bentuk grafik, tabel, dan interpretasi statistik untuk mendukung kesimpulan penelitian.

Tahap persiapan merupakan rangkaian awal sebelum memulai pengumpulan dan pengolahan data. Pada tahap ini akan meliputi:

- Melakukan studi pustaka dalam mencari karya tulis ilmiah yang relevan untuk proses perencanaan.

- b. Memilah dan menentukan data.
- c. Menentukan instansi atau perusahaan untuk dijadikan sumber data.
- d. Melakukan persyaratan administratif/ mempersiapkan surat-menyurat untuk pengumpulan data.

Pengumpulan data terdiri dari dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder. Sumber data tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Data Primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari lokasi studi kasus atau area penelitian, dikumpulkan melalui observasi lapangan di PLTA Ir. P. M. Noor, seperti data produksi dan debit air.
- b. Data Sekunder berasal dari kajian pustaka serta laporan hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian ini.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melaksanakan penelitian yang dilaksanakan di PLTA Ir. P. M. Noor yang mendapatkan beberapa data dengan melakukan observasi dan juga wawancara kepada pekerja yang ada di PLTA. Data-data tersebut bisa dilihat pada tabel yang ada dibawah ini.

Tabel 4.1 Data Pengusahaan PLTA 2024-2025

Bulan	Pemakaian Air(m <sup>3</sup> )	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Daya Output(kWh)	Elevasi Permukaan Air Waduk	Efisiensi Perhitungan (%)
Januari 2024	101.600.248	37,93	11.248.869	55,84	82,22
Februari 2024	118.044.953	47,11	12.904.532	58,07	68,26
Maret 2024	130.161.446	48,60	14.749.202	58,08	67,31
April 2024	90.306.708	34,84	10.519.535	58,18	82,01
Mei 2024	119.748.250	44,71	13.246.204	58,82	68,60
Juni 2024	140.942.631	54,38	19.766.440	59,19	62,76
Juli 2024	139.326.320	52,02	17.520.895	59,81	62,41
Agustus 2024	100.702.161	37,60	10.604.830	58,47	77,08
September 2024	88.191.089	34,02	9.766.309	57,88	84,11
Oktober 2024	80.219.563	29,95	7.913.586	56,62	95,91
November 2024	75.722.783	29,21	7.112.085	55,82	99,90
Desember 2024	114.995.106	42,93	13.466.212	56,56	74,71
Januari 2025	147.788.489	55,18	17.595.238	57,82	65,30
Februari 2025	142.231.479	58,79	17.580.653	59,09	62,26
Maret 2025	154.224.077	57,58	18.389.998	58,55	63,44
April 2025	123.126.762	47,50	13.545.189	58,39	68,36

Tabel 4.1 menunjukkan data pengusahaan PLTA Januari 2024-April 2025 yang didalam tabel tersebut terdapat beberapa data utama keperluan dalam penelitian kali ini. Dari data pemakaian air bulanan yang dihasilkan PLTA itu dapat menghasilkan data pemakaian rata-rata harian dari PLTA tersebut yang nantinya akan digunakan sebagai dasar dari perhitungan untuk menentukan efisiensi daya pada PLTA.

Tabel 4.2 Data Hasil Observasi

Data	Nilai	Keterangan	
$\rho_{air}$	997 kg/m <sup>3</sup>	Diasumsikan suhu air mencapai 25°C	Massa jenis air
g	9,81 m/s <sup>2</sup>	Diasumsikan dari gambar teknik <i>penstock</i> dan turbin.	percepatan gravitasi
$A_1$	∞(tak hingga)	Diasumsikan	luasan permukaan air waduk
$D_2$	2100 mm	Diasumsikan sama dengan diameter outlet turbin (dari data teknik)	diameter inlet draft tube
$Q_1$	0 m <sup>3</sup> /s	Diasumsikan air diam	debit permukaan air waduk

$Q_2$	(sesuai tabel 4.1)	Data Pengusahaan	debit air bulanan masuk turbin
$p_1$	0 N/m <sup>2</sup>	Diasumsikan dari tekanan gauge	tekanan permukaan air waduk
$p_2$	0,4 kg/cm <sup>2</sup>	Diasumsikan dari tekanan gauge	tekanan pada draft tube
$z_1$	(sesuai tabel 4.1)	Data Pengusahaan	elevasi permukaan air waduk
$z_2$	14,1 m	Diasumsikan berada di bagian bawah turbin.	elevasi sensor tekanan draft tube

Tabel 4.3 Data Konversi Satuan

Data	Nilai	Keterangan
D2	2,1 m	diameter inlet draft tube
P2	-4000N/m <sup>2</sup>	tekanan pada draft tube

Dari D2 diperoleh  $A_2 = 0,25 \cdot \pi \cdot D_2^2 = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 2,1^2 = 3,46185 \text{ m}^2$

Contoh perhitungan:

$$v_1 = \left( \frac{Q_1}{A_1} \right) = \left( \frac{0}{\infty} \right) = 0 \text{ m/s}$$

$$v_2 = \left( \frac{Q_2}{A_2} \right) = \left( \frac{37,93}{3,46185} \right) = 10,95656946 \text{ m/s}$$

Contoh perhitungan head efektif:

$$H_{eff} = \left( \frac{p_1 - p_2}{\rho \cdot g} \right) + \left( \frac{v_1^2 - v_2^2}{2 \cdot g} \right) + (z_1 - z_2)$$

$$H_{eff} = \left( \frac{0 - (-4000)}{997,9,81} \right) + \left( \frac{0^2 - 10,95656946^2}{2,9,81} \right) + (55,84 - 14,1)$$

$$H_{eff} = 36,02540050$$

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Head Efektif

Bulan	$H_{eff}$
Januari 2024	36,02540050
Februari 2024	34,93530606
Maret 2024	34,34380985
April 2024	39,32170315
Mei 2024	36,62750769
Juni 2024	32,91738389
Juli 2024	34,60530245
Agustus 2024	38,76640344
September 2024	39,26184363
Oktober 2024	39,11411804
November 2024	38,50030291
Desember 2024	35,03095567
Januari 2025	31,17962628
Februari 2025	30,69485109
Maret 2025	30,75369124
April 2025	35,66352302

Tabel 4.5 Data Perhitungan Daya Hidrolik

Data	Nilai	Keterangan
$\rho_{air}$ (massa jenis air)	997 kg/m <sup>3</sup>	Diasumsikan suhu air mencapai 25°C
g (percepatan gravitasi)	9,81 m/s <sup>2</sup>	Diasumsikan dari gambar teknik penstock dan turbin.
Q (debit air masuk turbin)	(Sesuai tabel 4.1)	Data Pengusahaan
$H_{eff}$ (head efektif)	(Sesuai tabel 4.4)	Hasil Perhitungan 4.1.1

Contoh perhitungan daya hidrolik menggunakan data bulan Januari 2024:

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{eff}$$

$$P_h = 997,9 \cdot 81,37 \cdot 93,36 \cdot 0,2540050$$

$$P_h = 13364595,73 \text{ W}$$

$$P_h = 13364,59573 \text{ kW}$$

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Daya Hidrolik Bulanan

Bulan	Daya Hidrolik (kW)
Januari 2024	13364,59573
Februari 2024	16096,88429
Maret 2024	16324,83897
April 2024	13399,06927
Mei 2024	16016,81664
Juni 2024	17507,68327
Juli 2024	17606,66751
Agustus 2024	14256,32285
September 2024	13063,78920
Oktober 2024	11457,62317
November 2024	10999,16885
Desember 2024	14708,79312
Januari 2025	16827,39027
Februari 2025	17649,53048
Maret 2025	17319,40931
April 2025	16073,14560

Tabel 4.7 Data untuk perhitungan daya turbin

Data	Nilai	Keterangan
$\eta_g$ (efisiensi generator)	91%	Data Teknik PLTA Ir. P. M. Noor
$P_t$ (daya generator)	10.000 kW	Data Pengusahaan

Contoh perhitungan daya turbin :

$$P_t = \left( \frac{P_t}{\eta_g} \right)$$

$$P_t = \frac{10.000}{0,91}$$

$$P_t = 10989,01 \text{ kW}$$

Tabel 4.8 Data untuk Perhitungan Efisiensi Daya PLTA

Data	Nilai	Keterangan
$P_t$ (daya turbin)	10989,01 kW	Hasil Perhitungan 4.1.3
$P_h$ (daya hidrolik)	(Sesuai tabel 4.6)	Hasil perhitungan 4.1.2

Contoh perhitungan efisiensi Daya PLTA bukan Januari 2024:

$$\eta_{PLTA} = \frac{P_t}{P_h} \times 100\%$$

$$\eta_{PLTA} = \frac{10989,01}{13364,59573} \times 100\%$$

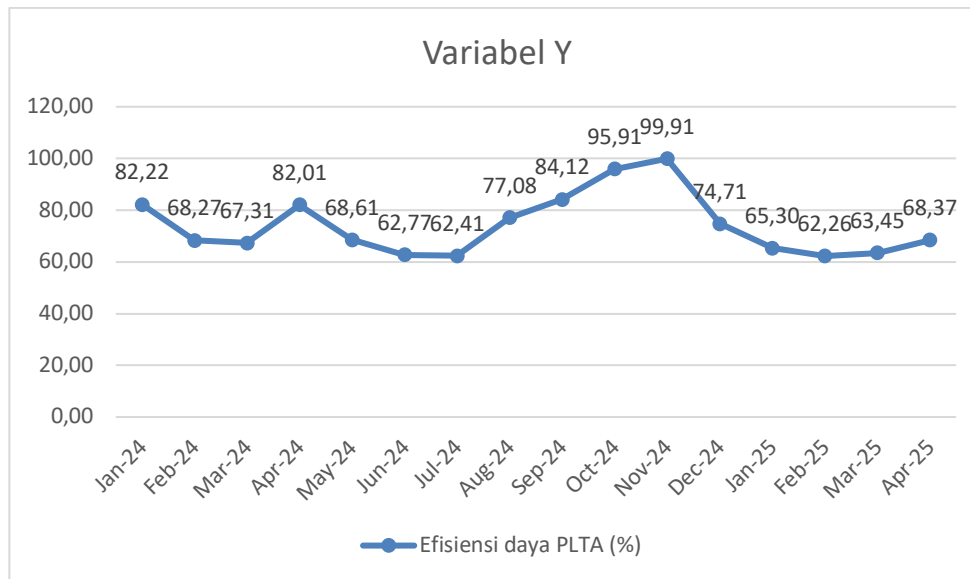
$$\eta_{PLTA} = 0,82224791 \times 100\%$$

$$\eta_{PLTA} = 82,22479164\%$$

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Efisiensi Daya Bulanan PLTA

Bulan	Efisiensi Daya PLTA (%)
Januari 2024	82,22479164
Februari 2024	68,26793800
Maret 2024	67,31466701
April 2024	82,01324114

Mei 2024	68,60920767
Juni 2024	62,76679112
Juli 2024	62,41391782
Agustus 2024	77,08166479
September 2024	84,11809789
Oktober 2024	95,91004024
November 2024	99,90764880
Desember 2024	74,71048714
Januari 2025	65,30430930
Februari 2025	62,26234176
Maret 2025	63,44910956
April 2025	68,36876404



Grafik 4.1 Variabel Y (Efisiensi Daya PLTA)

Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 4.9 serta pola fluktuasi efisiensi pada Grafik 4.1, kinerja PLTA Ir. P. M. Noor menunjukkan variasi efisiensi yang cukup signifikan selama periode Januari 2024 hingga April 2025, dengan kisaran nilai antara 62,26% hingga 99,91%. Variasi ini menunjukkan bahwa sistem pembangkitan memiliki karakter dinamis yang sangat dipengaruhi oleh kondisi hidrologi dan strategi operasional waduk. Nilai efisiensi tertinggi tercatat pada November 2024, ketika hanya dua unit turbin dioperasikan dengan debit air relatif rendah, sehingga daya hidrolis ( $P_h$ ) sebagai penyebut menjadi kecil dan meningkatkan rasio efisiensi total. Sebaliknya, efisiensi terendah pada Februari 2025 terjadi akibat meningkatnya debit secara signifikan yang menyebabkan rugi-rugi energi potensial (*head loss*) serta ketidakseimbangan antara debit aktual dan kapasitas optimum turbin.

Secara teoritis, efisiensi daya PLTA ditentukan oleh perbandingan antara daya turbin ( $P_t$ ) dan daya hidrolis ( $P_h$ ). Karena nilai  $P_t$  relatif konstan—dihitung berdasarkan parameter teknis turbin dan efisiensi generator—maka fluktuasi efisiensi terutama dipengaruhi oleh variasi daya hidrolis yang bergantung pada debit dan tinggi muka air waduk. Pola ini menunjukkan adanya hubungan berbanding terbalik antara debit dan efisiensi, di mana peningkatan debit yang tidak diimbangi dengan pengaturan optimal justru menurunkan efisiensi akibat meningkatnya kerugian hidrolis (*hydraulic losses*). Fenomena tersebut konsisten dengan temuan Hakim et al. (2024), yang menjelaskan bahwa kelebihan debit di atas kapasitas desain turbin dapat menurunkan efisiensi pembangkitan karena peningkatan rugi-rugi energi.

Dari sisi operasional, fluktuasi efisiensi juga mencerminkan penerapan strategi manajemen turbin yang adaptif. Pengoperasian sebagian unit turbin pada saat debit rendah menjadi langkah efisien untuk menjaga kestabilan pembangkitan dan konservasi air waduk. Hal serupa dilaporkan oleh Yildiz et al. (2024), yang menegaskan bahwa efisiensi turbin pada sistem *run-of-river* sangat sensitif terhadap perubahan debit, karena hubungan antara input air dan output energi bersifat non-linier, sehingga memerlukan pengaturan unit operasi yang fleksibel.

Selain faktor teknis, hasil penelitian ini juga terkait dengan pengaruh dinamika iklim regional. Andersson et al. (2023) menunjukkan bahwa variasi curah hujan musiman dan pola aliran sungai berperan besar terhadap efisiensi pembangkitan pada sistem hidropower di wilayah tropis dan subtropis. Hasil serupa dilaporkan oleh Wijayaratne et al. (2019) di Sri Lanka, bahwa fluktuasi debit sungai akibat variabilitas iklim tahunan berdampak nyata terhadap performa pembangkit *run-of-river*. Temuan-temuan ini memperkuat bahwa perubahan efisiensi pada PLTA Ir. P. M. Noor tidak semata disebabkan oleh aspek teknis, tetapi juga merupakan respon adaptif terhadap kondisi hidroklimat yang dinamis.

Lebih jauh, Hermans et al. (2022) menegaskan bahwa akurasi prakiraan debit dan curah hujan memiliki peran penting dalam perencanaan operasi waduk jangka menengah. Temuan tersebut menunjukkan bahwa efisiensi pembangkitan dapat dipertahankan melalui strategi operasi berbasis prediksi hidroklimat jangka pendek, sebagaimana telah diterapkan secara implisit pada sistem pengelolaan Waduk Riam Kanan.

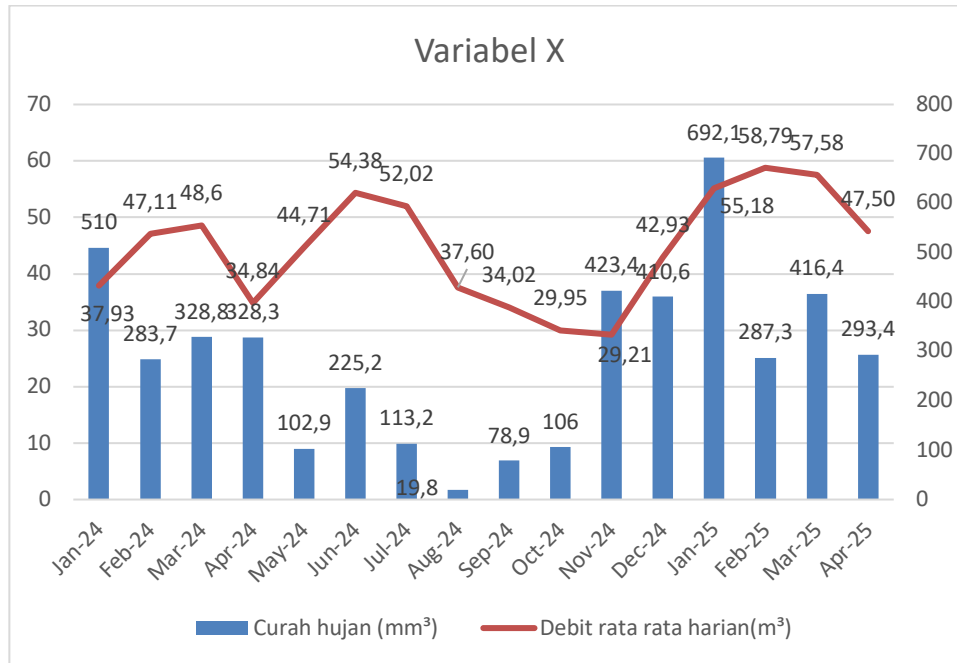
Secara keseluruhan Tabel 4.9 dan Grafik 4.1 menegaskan bahwa efisiensi daya PLTA Ir. P. M. Noor merupakan hasil interaksi kompleks antara variabilitas hidrologi, kapasitas teknis, dan strategi operasional pembangkit. Sistem ini menunjukkan tingkat resiliensi operasional yang tinggi, di mana penyesuaian jumlah unit turbin dan pengaturan debit memungkinkan efisiensi rata-rata tahunan tetap di atas 80%, meskipun menghadapi fluktuasi debit yang ekstrem. Dengan demikian, PLTA Ir. P. M. Noor dapat dikategorikan sebagai salah satu model pembangkit tropis yang efisien, adaptif, dan berkelanjutan dalam menghadapi variabilitas iklim dan hidrologi.

Tabel 4.10 Data curah hujan bulanan BMKG

Bulan	Curah Hujan (mm <sup>3</sup> )
Januari 2024	510
Februari 2024	283,7
Maret 2024	328,8
April 2024	328,3
Mei 2024	102,9
Juni 2024	225,2
Juli 2024	113,2
Agustus 2024	19,8
September 2024	78,9
Oktober 2024	106
November 2024	423,4
Desember 2024	410,6
Januari 2025	692,1
Februari 2025	287,3
Maret 2025	416,4
April 2025	293,4

Berdasarkan informasi bulanan mengenai curah hujan yang diperoleh dari Stasiun Klimatologi Kelas I Banjarbaru BMKG pada Tabel 4.10, serta curah hujan rata-rata debit air harian pada Grafik 4.2, menjelaskan bahwa curah hujan di wilayah Waduk Riam Kanan menunjukkan perubahan secara signifikan sejak Januari 2024 hingga April 2025. Akan tetapi, debit air rata-rata harian yang mengalir ke turbin PLTA Ir. P.M. Noor relatif konstan dalam rentang 30 hingga 60 m<sup>3</sup>/s. Hal ini mengindikasikan bahwa variasi curah hujan tidak memberikan dampak langsung terhadap perubahan debit, karena adanya mekanisme penyeimbang hidrologis (*reservoir buffering*) pada sistem waduk.

Kestabilan debit air tersebut menunjukkan bahwa sistem pengelolaan waduk berfungsi efektif dalam meredam fluktuasi curah hujan yang masuk ke daerah tangkapan air. Meskipun intensitas hujan pada Januari 2025 mencapai 692,1 mm<sup>3</sup>, peningkatan curah hujan tersebut tidak memicu lonjakan debit yang signifikan. Sebaliknya, pada Agustus 2024, ketika curah hujan hanya 19,8 mm<sup>3</sup>, penurunan debit masih berada dalam rentang yang terkendali. Fenomena ini sejalan dengan hasil penelitian Basso dan Botter (2012) yang menjelaskan bahwa pada sistem pembangkit tipe *run-of-river* dengan waduk pengatur, hubungan antara curah hujan dan debit air bersifat tidak linier, di mana respon debit sangat dipengaruhi oleh morfologi daerah tangkapan dan kapasitas tampungan waduk.



Grafik 4.2 Variabel X (Data Curah Hujan dan Debit Rata-Rata Harian)

Lebih lanjut, temuan Sutrisno et al. (2020) pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung mengindikasikan adanya waktu tunda (lag time) antara curah hujan dan respon debit, yang disebabkan oleh proses infiltrasi air ke dalam tanah dan pelepasan air tanah secara bertahap. Mekanisme serupa juga menjelaskan kestabilan debit harian pada PLTA Ir. P. M. Noor, meskipun curah hujan menunjukkan fluktuasi ekstrem. Hasil ini sejalan dengan studi Chen et al. (2021), yang menegaskan bahwa perubahan muka air waduk serta infiltrasi tanah berperan penting dalam menstabilkan aliran keluar (*outflow*) dari sistem reservoir.

Kondisi ini mengindikasikan bahwa ketahanan hidrologis PLTA Ir. P. M. Noor tergolong tinggi dalam menghadapi dinamika iklim tropis. Sistem pengelolaan debit yang adaptif terhadap ketersediaan air memungkinkan efisiensi pembangkitan tetap terjaga meskipun distribusi curah hujan tidak merata. Dengan demikian, curah hujan tinggi berfungsi menambah cadangan air waduk tanpa secara langsung meningkatkan debit turbin, sedangkan periode curah hujan rendah dapat diimbangi melalui strategi pengaturan tampungan yang efektif.

Secara keseluruhan, Tabel 4.10 dan Grafik 4.2 menegaskan bahwa stabilitas debit merupakan hasil sinergi antara faktor alami—seperti karakteristik DAS—dan faktor teknis berupa pengaturan operasional waduk, yang bersama-sama mendukung konsistensi efisiensi daya PLTA sepanjang tahun (Sirait, 2024; Singh et al., 2022; Wasti et al., 2022).

Berdasarkan rumus dari PLTA sendiri dapat nilai efisiensi produksi PLTA bisa didapatkan dari pemakaian air(m³) dan daya realisasi produksi(kWh) dengan rumus sebagai berikut.

$$Efisiensi\ Produksi\ m^3/kWh = \frac{Pemakaian\ air(m^3)}{Realiasi\ produksi\ (kWh)}$$

$$Efisiensi\ Produksi\ m^3/kWh = \frac{101.600.248\ m^3}{11.248.869\ kWh}$$

$$Efisiensi\ Produksi\ m^3/kWh = 9,032041202$$

Tabel 4.11 Nilai Efisiensi Produksi PLTA

Bulan	Efisiensi Produksi m³/kWh
Januari 2024	9,03
Februari 2024	9,15
Maret 2024	8,82
April 2024	8,58
Mei 2024	9,04
Juni 2024	7,13

Juli 2024	7,95
Agustus 2024	9,50
September 2024	9,03
Oktober 2024	10,14
November 2024	10,65
Desember 2024	8,54
Januari 2025	8,40
Februari 2025	8,09
Maret 2025	8,39
April 2025	9,09

Tabel 4.11 merupakan nilai efisiensi produksi PLTA. Yang mana hasil tabel ini berdasarkan rumus yang digunakan oleh PLTA untuk menghitung efisiensi menggunakan satuan dari  $m^3$  dari pemakaian air dan kWh dari daya realisasi produksi oleh PLTA.

### Analisa Data

Pada grafik 4.2 variabel X yang menampilkan 2 data sekaligus, yaitu data curah hujan dan data debit rata-rata harian, menunjukkan nilai yang fluktuatif dari data curah hujan dan nilai yang stabil dari data debit rata-rata harian. Nilai data curah hujan tertinggi terdapat pada bulan Januari 2025 dimana analisis curah hujan bulan Januari 2025 yang dilakukan BMKG, sebagian besar wilayah Indonesia mengalami curah hujan kategori menengah hingga tinggi, dengan dominasi sifat hujan Atas Normal pada 64% wilayah. Fenomena ini dipengaruhi oleh kondisi atmosfer-laut seperti La Nina lemah (indeks ENSO -0,80) dan IOD (Indian Ocean Dipole) negatif (indeks -0,48), serta anomali suhu muka laut yang umumnya netral hingga hangat. Sedangkan, nilai data curah hujan terendah ada pada bulan Agustus 2024, dimana pada bulan tersebut terjadi akibat puncak dari musim kemarau yang membuat penurunan intensitas curah hujan sangat berkurang.

Untuk data debit rata-rata harian terlihat sangat stabil meskipun adanya penurunan curah hujan yang terjadi di bulan Agustus 2024. Nilai data yang ada pada Agustus 2024 adalah  $37,6m^3$ , yang mana nilai tersebut hanya mengalami sedikit penurunan dari bulan sebelumnya dan tidak sampai 50%. Sedangkan data pada bulan Januari 2025 lumayan memiliki peningkatan pada bulan sebelumnya dan memiliki puncak nilai data tertinggi di bulan Februari dengan nilai  $58,79m^3$ . Stabilitasnya nilai debit rata-rata ini sangat di pengaruhi oleh pengaturan sistem yang ada pada PLTA, efektivitas pengaturan waduk dan kontribusi aliran dasar (*baseflow*), yang berperan menjaga kelangsungan suplai air pembangkit di tengah dinamika iklim tropis. Hal ini memperkuat temuan bahwa perubahan intensitas presipitasi tidak selalu memiliki korelasi langsung dengan debit yang memasuki sistem pembangkitan tenaga air (Karakoyun et al., 2024; Hao et al., 2024).

Data efisiensi daya yang dihasilkan pada tabel 4.9 dan menghasilkan bentuk grafik 4.1 dengan nilai data efisiensi daya tertinggi 99,9% diakibatkan dari kecilnya nilai daya hidrolik pada bulan tersebut. Dimana nilai data tersebut berfungsi sebagai nilai pembagi dari nilai utama, yaitu daya turbin yang dihasilkan oleh perhitungan 4.1.3. Ketika nilai pembagi lebih kecil, maka dapat dipastikan hasil efisiensi yang didapatkan menjadi lebih tinggi. Begitu pula sebaliknya, ketika nilai pembagi lebih besar maka hasil efisiensi yang didapatkan akan menjadi lebih rendah.

Data dari nilai efisiensi pada tabel 4.11 berdasarkan rumus yang digunakan oleh PLTA yang memungkinkan mendapatkan hasil efisiensi PLTA melalui data pemakaian air dan daya realisasi produksi, yang mana menjadikan satuan dari nilai efisiensinya adalah  $m^3/kWh$ . Berdasarkan hasil pertanyaan, bisa dikatakan bahwa semakin kecil nilainya berarti semakin efisien. Nilai efisiensi merupakan pemakaian air untuk menghasilkan 1 kWh. Nilai terkecil terdapat pada bulan Juni 2024, yang mana artinya pada bulan tersebut untuk menghasilkan 1 kWh menggunakan  $7,13 m^3$  pemakaian air.

Secara keseluruhan, Stabilitas debit dan efisiensi daya PLTA Ir. P. M. Noor merupakan hasil interaksi antara faktor hidrologi dan strategi operasional waduk, yang memungkinkan sistem pembangkitan tetap efisien di tengah variabilitas iklim tropis. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi empiris terhadap pemahaman hubungan non-linier antara variabilitas hidrologi tropis dan efisiensi pembangkitan PLTA berbasis waduk, sekaligus memperluas kajian hidrologi tropis yang selama ini lebih banyak difokuskan pada sistem *run-of-river* di wilayah subtropis

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN

### Kesimpulan

Kesimpulan (setiap kesimpulan yang dibuat mestinya diuraikan pada pembahasan)

- a. Data yang diperoleh dari Stasiun Klimatologi Kelas I Banjarbaru BMKG menunjukkan bahwa variasi curah hujan bulanan selama periode penelitian berkorelasi dengan fluktuasi debit air yang tercatat di PLTA.
- b. Curah hujan berperan tidak langsung terhadap efisiensi daya melalui pengaruhnya terhadap debit air waduk. Hujan yang tinggi meningkatkan debit, sementara musim kemarau menyebabkan penurunan debit, yang kemudian berdampak pada performa turbin dan generator.
- c. Debit air yang tidak stabil berdampak pada variasi daya turbin dan efisiensi pembangkitan. Namun, dibandingkan curah hujan, debit air menunjukkan pengaruh yang lebih tidak langsung karena sudah melalui pengaturan dari sistem.
- d. Efisiensi daya PLTA Ir. P. M. Noor bervariasi tiap bulan, dengan nilai efisiensi tertinggi mencapai lebih dari 99,9% (dipengaruhi oleh data input-output yang tidak linier dalam operasional aktual), dan terendah berada di kisaran 62,26%. Fluktuasi ini mencerminkan adanya pengaruh nyata dari kondisi hidrologi terhadap kinerja PLTA.
- e. Hubungan antara variabel debit air dan efisiensi daya menunjukkan korelasi positif, yang berarti semakin tinggi debit yang masuk ke turbin, maka daya *output* cenderung meningkat dengan efisiensi yang lebih baik.
- f. PLTA Ir. P. M. Noor mengandalkan informasi dari BMKG untuk perencanaan penggunaan air. Informasi tentang prediksi curah hujan digunakan untuk mengatur pola debit air guna menjamin keberlanjutan operasional. Hasil analisis menggunakan metode kuantitatif dan pendekatan korelasional berhasil menunjukkan adanya pengaruh signifikan antara variabel iklim dan efisiensi PLTA, serta menegaskan pentingnya pengelolaan air dan pemantauan cuaca untuk mendukung kinerja pembangkit listrik.

### Saran

- a. Diperlukan sistem monitoring prediktif yang lebih akurat dan real-time untuk curah hujan dan debit air agar manajemen air waduk lebih optimal dan dapat melakukan penyesuaian operasional yang lebih responsif terhadap kondisi alam. Ini bisa mencakup integrasi sensor digital dan sistem informasi cuaca berbasis AI.
- b. PLTA perlu meningkatkan koordinasi dengan instansi terkait seperti BMKG secara lebih rutin untuk memperoleh prediksi iklim jangka pendek dan jangka panjang, guna mencegah kekurangan air saat musim kering.
- c. Perlu adanya evaluasi dan optimasi periodik pada sistem turbin dan generator, terutama terkait dengan efisiensi mekanis, untuk menurunkan potensi rugi-rugi energi akibat keausan atau ketidakseimbangan operasional.
- d. Disarankan dilakukan penelitian lanjutan terkait pengaruh vegetasi dan penggunaan lahan di daerah tangkapan air, karena hal ini juga memengaruhi ketersediaan dan stabilitas debit air.
- e. Pemeliharaan dan kalibrasi perangkat pengukur debit serta alat ukur curah hujan harus dilakukan secara berkala, agar data yang diperoleh tetap akurat dan andal.
- f. Penelitian lanjutan disarankan untuk memperluas periode pengamatan dan melibatkan faktor lain, seperti suhu udara, kelembaban, serta kondisi sedimentasi waduk, yang juga berpotensi memengaruhi efisiensi pembangkitan daya.
- g. Dari sisi akademis, hasil penelitian ini dapat menjadi rujukan penting dalam studi tentang energi terbarukan, khususnya pengaruh kondisi hidrologi terhadap performa pembangkit listrik tenaga air di wilayah tropis.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

1. Abdussamad, J. *et al.* (2019) *Buku Referensi Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, Dan Mixed Methode*. 1st edn. PT Media Penerbit Indonesia.
2. Andersson, J., Stagge, J. H., Törnros, T., & Wörman, A. (2023). A model for assessing the importance of runoff forecasts in periodic climate on hydropower production. *Water*, 15(8), 1559. <https://doi.org/10.3390/w15081559>
3. Barbón, A., González-González, F., Bayón, L., & Georgious, R. (2023). Variable-speed operation of micro-hydropower plants in irrigation infrastructure: An energy and cost analysis. *Applied Sciences*, 13(24), 13096. <https://doi.org/10.3390/app132413096>
4. Basso, S and Botter G. (2012). *Streamflow variability and optimal capacity of run of*

- riverhydropower plants*. WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 48
5. Chen, M., Guo, W., & Li, Y. (2021). Hydraulic response and stability of a reservoir slope with landslide potential under the combined effect of rainfall and water level fluctuation. *Environmental Earth Sciences*, 80(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09327-z>
  6. [https://digilibadmin.unismuh.ac.id/upload/38503-Full\\_Text.pdf](https://digilibadmin.unismuh.ac.id/upload/38503-Full_Text.pdf) (Accessed: 15 March 2025).
  7. Hakim, R., Ningsih, D., & Rahmawati, E. (2024). Studi kasus peningkatan daya dan efisiensi turbin air setelah overhaul pada PLTA kapasitas 175 MW. *Jurnal Teknologi*, 11(2), 175–186.
  8. Hao, S., Wörman, A., & Brandimarte, L. (2024). The impact of hydroclimate-driven periodic runoff on hydropower production and management. *Scientific Reports*, 14, 25967. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-76461-3>
  9. Hermans, T. H. J., Anghileri, D., & van Vliet, M. T. H. (2022). *Unfolding the relationship between seasonal forecast skill and value in hydropower production: A global analysis*. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26(9), 2431–2453. <https://doi.org/10.5194/hess-26-2431-2022>
  10. Karakoyun, Y., et al. (2024). Determination of effective parameters for hydropower energy output: flow rate, precipitation and design flow rate. *Applied Sciences*, 14(5), 2069. <https://doi.org/10.3390/app14052069>
  11. Muhson, A. (2006) *Teknik Analisis Kuantitatif*.
  12. Permana, H. et al. (2024) 'Pengaruh Debit Air Dan Curah Hujan Pada Plta Way Besai Lampung Barat Terhadap Produktivitas Energi Yang Di Hasilkan', *Jurnal Baut dan Manufaktur*, 6(1).
  13. PT PLN (2017) *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PLN PT PLN (Persero)*. Available at: [www.pln.co.id](http://www.pln.co.id).
  14. Singh, R., Pandey, P., & Dahal, P. (2022). Impact of variation in climatic parameters on hydropower generation: A case of hydropower project in Nepal. *Heliyon*, 8(3), e09112. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09112>
  15. Sirait, K.R.M. (2024) *Analisis Pengaruh Curah Hujan Terhadap Tingkat Produksi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Pakkat*. Medan.
  16. Sutrisno, A.J., Kaswanto and Arifin, H.S. (2020) 'Analisis Prediksi dan Hubungan antara Debit Air dan Curah Hujan pada Sungai Ciliwung di Kota Bogor', *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 10(1), pp. 25–33.
  17. Syafitri, Y.A. (2022) *Analisa Prediktif Daya Operasi PLTA Batang Agam Terhadap Debit Air Yang Digunakan Dengan Metode Regresi*. Padang.
  18. Wahyudiana, Y. (2019) *Perubahan Lingkungan Air Dan Dampaknya Terhadap Produksi Listrik Di PLTA Cirata*. Cimahi.
  19. Wasti, A. et al. (2022) 'Climate change and the hydropower sector: A global review', *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. John Wiley and Sons Inc.
  20. Wijayarathne, D. B., Herath, H. M. K. B., & Fernando, K. S. S. (2019). *Impact of climate variability on hydropower generation in an un-gauged catchment: Erathna run-of-the-river hydropower plant, Sri Lanka*. *Applied Water Science*, 9(8), 184. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0925-9>
  21. Yildiz, V., Brown, S., & Rougé, C. (2024). Importance of variable turbine efficiency in run-of-river hydropower design under deep uncertainty. *Water Resources Research*, 60(6), e2023WR035713. <https://doi.org/10.1029/2023WR035713>