

Analisis Efisiensi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro di Desa Pao Kecamatan Tombolo Pao Kabupaten Gowa Sebagai Alternatif Sumber Energi Listrik

Nur Azizah^{1*}, Nahdatul Adaniah², Muh. Yusan Naim³, Sugianto⁴, A. Syarifuddin⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia

Email: ¹03320210006@umi.ac.id; ²03320200051@umi.ac.id; ³muhyusan.naim@umi.ac.id; ⁴sugianto@umi.ac.id;

⁵asyarif@umi.ac.id

Received: 30 08 2024 | Revised: 02 09 2024 | Accepted: 10 09 2024 | Published: 18 09 2024

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi daya pada Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Tombolo Pao, Kabupaten Gowa, dengan fokus pada faktor-faktor yang memengaruhi kinerja sistem pembangkit. PLTM merupakan solusi energi terbarukan yang ramah lingkungan, memanfaatkan aliran air dari sungai atau saluran irigasi dengan kapasitas pembangkit yang lebih kecil dibandingkan pembangkit hidro besar. Penelitian dilakukan melalui wawancara dengan pihak PLTM Tombolo Pao serta observasi langsung di lokasi untuk memperoleh data teknis yang akurat. Analisis melibatkan pengukuran daya berdasarkan debit air dan tinggi terjun air, serta evaluasi rugi-rugi energi pada komponen utama seperti penstock, turbin, dan generator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi daya pada PLTM Tombolo Pao mencapai 75,22% dengan debit air 0,554 m³/s. Rugi-rugi energi yang teridentifikasi meliputi rugi-rugi pada penstock sebesar 146,73 W, turbin sebesar 151.588,81 W, dan generator sebesar 4.854,13 W. Variasi debit air serta performa komponen utama menjadi faktor utama yang memengaruhi efisiensi sistem. Penelitian ini memberikan wawasan penting mengenai faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi pembangkit listrik tenaga minihidro. Temuan ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan dan pengelolaan PLTM yang lebih optimal, efektif, dan efisien di masa depan.

Kata kunci: pltm, efisiensi daya, rugi-rugi daya

1. Pendahuluan

Banyaknya sumber daya energi yang dapat diperoleh melalui air sungai di wilayah Sulawesi Selatan khususnya Kabupaten Gowa dapat menjadi pendorong adanya inovasi untuk memanfaatkan hal tersebut dengan membangun pembangkit listrik berskala kecil contohnya pembangkit listrik minihidro. PLTM dapat menjadi alternatif sumber energi listrik yang efisien dan berkelanjutan, khususnya di kawasan pedesaan atau daerah dengan sumber air yang memadai. [1]

Melihat peluang tersebut Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Tombolo Pao dibuat dan resmi beroperasi sejak Juni 2015 lalu. PLTM yang terletak di Desa Pao Kec. Tombolo Pao Kab. PT. Bumi Karsa lewat anak perusahaannya yaitu PT. Tombolo Energi akan mengelola PLTM ini.[2]

Penelitian ini diharapkan mampu meninjau kembali debit air dan rugi-rugi yang ada pada PLTM Tombolo Pao sehingga nantinya dapat mengetahui efisiensi daya yang didapatkan. Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (PLTM) ini memanfaatkan aliran air yang konstan dalam debit tertentu, Sebuah pembangkit listrik dituntut untuk dapat beroperasi secara optimal. Tenaga listrik yang dibutuhkan oleh konsumen setiap harinya tidak tetap.

Penelitian sistem peringatan dini yang memantau stabilitas sistem kelistrikan Sulawesi Selatan. Sistem ini terdiri dari 44 bus (node dalam jaringan listrik) dan 15

generator. Dengan mengamati margin stabilitas tegangan (VSM), para peneliti dapat mendeteksi potensi gangguan sebelum menyebabkan pemadaman [1].

Dalam sistem kelistrikan yang sudah dide-regulasi, kerugian harmonik yang disebabkan oleh perangkat elektronik pelanggan menjadi perhatian penting, karena harmonik dapat menyebabkan kerugian energi yang tidak terlihat dalam bentuk yang biasa. Oleh karena itu, ada kebutuhan untuk mengatasi dan menghitung kerugian harmonik ini secara adil dalam biaya transmisi [2].

Algoritma autokorelasi digunakan untuk mengekstraksi pitch dari sinyal wicara. Algoritma ini sangat efektif dalam mendeteksi frekuensi dasar (fundamental frequency) dari suara, yang penting dalam analisis suara manusia. Eksperimen ini menunjukkan bahwa autokorelasi dapat diandalkan untuk mengidentifikasi frekuensi pitch dalam pengucapan kata-kata dan huruf dalam bahasa Bugis [3].

2. Metode

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan wawancara, observasi, dan studi literatur untuk mengumpulkan data yang relevan. Wawancara dilakukan dengan pihak terkait di PT. Tombolo Energy untuk mendapatkan informasi mendalam mengenai kebijakan perusahaan, proses kerja, serta tantangan yang dihadapi. Teknik wawancara semi-terstruktur digunakan untuk memberikan fleksibilitas dalam mengeksplorasi berbagai aspek yang berkaitan dengan penelitian. Selain itu, observasi langsung dilakukan di lokasi PT. Tombolo Energy untuk mencatat data secara berkala terkait proses operasional dan kondisi lingkungan kerja. Observasi ini bertujuan untuk memperoleh data akurat yang dapat mendukung validitas temuan penelitian. Sebagai pelengkap, studi literatur dilakukan dengan mengkaji berbagai sumber referensi seperti buku, jurnal ilmiah, dokumen resmi, dan situs web yang relevan. Studi ini berfungsi untuk memahami konsep-konsep, teori-teori, dan penelitian terdahulu yang mendukung analisis dan interpretasi data. Kombinasi ketiga metode ini dilakukan secara sistematis untuk memastikan hasil penelitian yang valid, relevan, dan dapat dipertanggungjawabkan.

3. Hasil dan Pembahasan

Debit air yang dapat diperoleh selama sembilan tahun pada Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Tombolo Pao dapat dilihat pada tabel 1:

Tabel 1. Debit air (m³/s)

Debit Air										
No.	Bulan	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1	Januari		0,2882	0,5593	0,5640	0,7405	0,5830	0,6154	0,5692	0,5537
2	Februari		0,2001	0,4169	0,5075	0,8789	0,9615	0,5015	0,5591	0,4962
3	Maret		0,3494	0,3533	0,8884	0,7283	0,2952	0,4207	0,5926	0,5557
4	April		0,4304	0,8341	0,4484	0,4022	0,6489	0,5022	0,5973	0,5710
5	Mei	0,1625	0,4749	0,7062	0,7514	0,5735	0,7579	0,6007	0,3257	0,5480
6	Juni	0,0967	0,2142	0,5716	0,4695	0,8809	0,7577	0,5772	0,3643	0,5233
7	Juli		0,4388	0,4250	0,6148	0,3684	0,8852	0,5265	0,3960	0,4472
8	Agustus		0,2015	0,4805	0,4741	0,0536	0,4247	0,8070	0,9324	0,2238
9	September	0,0002	0,0889	0,1030	0,0945	0,0113	0,1631	0,3903	0,3127	0,0756
10	Oktober	0,0068	0,4209	0,0868	0,0259	0,0076	0,0666	0,5606	0,3292	0,1633
11	November	0,0214	0,3838	0,1495	0,0514	0,0316	0,0732	0,8141	0,4668	0,0528

12	Desember	0,3432	0,2434	0,7886	0,2623	0,0756	0,8610	0,4506	0,5750	0,1161
Rata- Rata		0,1051	0,3112	0,4562	0,4293	0,3960	0,5398	0,5639	0,5017	0,3606

a. Perhitungan debit air

Debit air (Q) merupakan hasil dari perkalian dari luas penampang (A) dengan kecepatan aliran rata-rata (V).

$$\begin{aligned} Q &= A \times V \\ &= 2,4 \times 0,231 \\ &= 0,554 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= L \times H \\ &= 2 \times 1,2 \\ &= 2,4 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{P}{t} \\ &= \frac{15}{64,95} \\ &= 0,231 \text{ m/s} \end{aligned}$$

b. Perhitungan daya hidrolisis

Dalam perhitungan daya hidrolisis pada PLTM Tombolo Pao di Desa Pao yang dihasilkan berdasarkan debit air, gravitasi bumi, massa jenis air dan tinggi jatuh air maka daya yang dihasilkan dapat dihitung.

$$\begin{aligned} P &= Q \times \rho \times g \times h \\ Q &= 0,554 \text{ m}^3/\text{s} \\ \rho &= 1.000 \text{ kg/m}^3 \\ g &= 9,81 \text{ m/s}^2 \\ h &= 116,246 \text{ m} \\ P &= 0,554 \times 1.000 \times 9,81 \times 116,246 \\ &= 631.766,786 \text{ W} \end{aligned}$$

c. Rugi-rugi penstock

a. Perhitungan *head losses major* pada *penstock*

$$\begin{aligned} HL_{\text{major}} &= f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \\ V &= \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2} \\ &= \frac{4 \times 0,554}{3,14 \times 1,44} \\ &= 0,49 \text{ m/s} \\ D &= 1,2 \text{ m} \\ f &= 0,011 \\ V &= 0,49 \text{ m/s} \\ L &= 200 \text{ m} \\ g &= 9,81 \text{ m/s}^2 \\ HL_{\text{major}} &= 0,011 \cdot \frac{200}{1,2} \cdot \frac{0,49^2}{2 \cdot 9,81} \end{aligned}$$

$$= 0,021 \text{ m}$$

d. Perhitungan *head losses minor*

$$HL_{\text{Minor}} = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

$$D = 1,2 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$V = 0,49 \text{ m/s}$$

$$K = 0,5$$

$$HL_{\text{Minor}} = 0,5 \cdot \frac{0,49^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$= 0,006 \text{ m}$$

Daya *losses penstock* adalah jumlah potensi daya yang hilang karena kerugian-kerugian (*Head Losses*). Dengan persamaan sebagai berikut.

$$PL = Q \times \rho \times g \times HT$$

$$\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$Q = 0,554 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HT = 0,027 \text{ m}$$

$$PL = 0,554 \times 1.000 \times 9,81 \times 0,027$$

$$= 146,73 \text{ W}$$

Setelah mengetahui daya *losses* pada *penstock* maka dapat dicari daya yang dihasilkan oleh *penstock*.

$$PT = PH - PL$$

$$PH = 631.766,786 \text{ W}$$

$$PL = 146,73 \text{ W}$$

$$PT = 631.766,786 - 146,73$$

$$= 631.620,056 \text{ W}$$

e. Rugi-rugi turbin

Daya yang digunakan adalah kondisi aktual atau kondisi yang nyata pada lapangan. Efisiensi turbin berdasarkan hasil pengambilan data aktual di PLTM Tombolo Pao diperoleh [6]

$$Pt = 532 \text{ kW}$$

$$= 532.000 \text{ W}$$

$$Q = 0,61 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h = 116,246 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efisiensi turbin unit 2 dengan menggunakan persamaan 10.

$$P = \rho \times Q \times g \times h$$

$$= 1.000 \times 0,61 \times 9,81 \times 116,246$$

$$= 695.627,689 \text{ W}$$

$$\eta_t = \frac{P_t}{P} \times 100\%$$

$$= \frac{532.000}{695.627,689}$$

$$= 76\%$$

Maka didapat efisiensi turbin sebesar 76% berdasarkan data spesifikasi turbin PLTM Tombolo Pao pada tabel 4.3. Setelah menemukan efisiensi turbin maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai rugi-rugi daya yang dihasilkan dengan debit air 0,554 m³/s, pada beban maksimal.

$$P_{\text{rugi-rugi}} = P_{\text{in}} - (\eta t \cdot P_{\text{in}})$$

$$= 631.620,056 - (0,76 \times 631.620,056)$$

$$= 631.620,056 - 480.031,246$$

$$= 151.588,81 \text{ W}$$

f. Rugi-rugi generator

Pada perhitungan rugi-rugi generator memiliki beberapa variabel didapatkan pada name plate generator yang dapat dilihat pada tabel 4.3 diatas dan adapun cara mencari rugi-rugi generator yaitu sebagai berikut

Rugi tembaga atau listrik (I²R losses).

$$P_{\text{SCL}} = 3 \cdot I_a^2 \cdot R_a$$

$$I_a = 49,06$$

$$R_a = 0,67$$

$$P_{\text{SCL}} = 3 \cdot 49,06^2 \cdot 0,67$$

$$= 4.837,83 \text{ W}$$

Kerugian tembaga rotor dari generator sinkron diberikan oleh dengan rumus.

$$P_{\text{RCL}} = I_F^2 \cdot R_F$$

$$I_F = 6,50$$

$$R_F = 0,193$$

$$P_{\text{RCL}} = 6,50^2 \cdot 0,193$$

$$= 8,15 \text{ W}$$

$$\Sigma \text{Rugi Total} = P_{\text{SCL}} + P_{\text{RCL}}$$

$$= 4.837,836 + 8,15$$

$$= 4.845,98 \text{ W}$$

Pada perhitungan rugi-rugi generator didapatkan rugi-rugi total sebesar 4.845,98 W.

g. Perhitungan efisiensi daya PLTM

Tabel 1. Debit air (m³/s)

No.	Item	Rugi-rugi daya (W)
1	<i>Penstock</i>	146,73
2	Turbin	151.588,813
3	Generator	4.845,986
Rugi-rugi total		156.581,529

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{P_{in-rugi_{total}}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$P_{out} = 475.185,257 \text{ W}$$

$$P_{in} = 631.766,786 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{475.185,257}{631.766,786} \times 100\%$$

$$= 75,22\%$$

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diuraikan maka dapat diambil kesimpulan mengenai efisiensi pembangkit listrik tenaga minihidro Tombolo Pao yaitu debit air Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro Tombolo Pao sebesar 0,554 m³/s dan daya hidrolisis sebesar 631.766,78 W. PLTM Tombolo Pao memiliki rugi-rugi total pada penstock sebesar 146,73 W, rugi-rugi turbin yaitu 151.588,81 W pada generator rugi-rugi total yang dimiliki sebesar 4.845,98 W. Nilai efisiensi daya PLTM Tombolo Pao sebesar 75,22%. Efisiensi yang sudah dihasilkan pada PLTM Tombolo Pao sudah cukup baik namun diharapkan agar lebih memperhatikan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kinerja pembangkit seperti debit air, rugi-rugi penstock, rugi-rugi turbin dan rugi-rugi generator.

Daftar Pustaka

- [1] BPS, "Kabupaten Gowa dalam Angka, Gowa Regency in figures 2021," Badan Pus. Stat. Kabupaten Gowa, p. 128, 2021.
- [2] "PT. Bumi Karsa | Construction, Engineering, Investment. Heavy Equipment & Plant." Accessed: Aug. 09, 2024. [Online]. Available: <https://bumikarsa.co.id/id/presscategory/investment>
- [3] W. Wijaya, J. Windarto, and K. Karnoto, "Analisa Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro Di Sungai Logawa Kecamatan Kedungbanteng Kabupaten Banyumas," *Transient J. Ilm. ...*, pp. 24–34, 2012, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient/article/view/13>
- [4] U. Jasa, P. Plta, and I. R. H. Djuanda, "ANALISIS HEAD LOSSES PADA PENSTOCK UNIT III DI PERUM JASA TIRTA II".
- [5] M. Sofyan and I. M. Sudana, "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Berdasarkan Debit Air dan Kebutuhan Energi Listrik," *J. List. Instrumentasi, dan Elektron. Terap.*, vol. 3, no. 2, pp. 31–39, 2022, doi: 10.22146/juliet.v3i2.64410.
- [6] M. R. Faturrochman, I. Guntara, A. H. Andriawan, R. Hartayu, I. A. W, and S. Santoso, "Pengaplikasian Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Tipe Turbin Screw di Desa Sendi, Pacet, Kabupaten Mojokerto," *El Sains J. Elektro*, vol. 3, no. 2, 2021, doi: 10.30996/elsains.v3i2.5981.

- [7] B. A. B. Ii, “Gambar 2.1 Skema Sistem Tenaga Listrik[1],” pp. 5–66.
- [8] R. H. Alfani, “Analisis Efisiensi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Panel Surya Dan Mikro Hidro Di Taman Airlangga Desa Pataan Kecamatan Sambeng Kabupaten Lamongan,” pp. 29–36.