Jurnal Teknik Mesin Universitas Bandar Lampung, Vol 15 No.1, April 2026

Submitted: 06-04-2026
Revised: 13-04-2026
Submitted: 20-04-2026
Revised: 25-04-2026
Accepted:28-02-2026
Published:30-04-2026

Perancangan dan Analisis Kinerja Mesin Pemotong Batang Nira Aren (Arenga pinnata) Berbasis Motor DC 24 V dengan Transmisi Gearbox Rasio Tinggi

Erma Yuniaty, Bambang Pratowo, Muhammad Syahfriandi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Universitas Jayabaya, Jakarta, Indonesia
Email: erma.yuniaty@gmail.com

Abstrak. Kebutuhan energi listrik di Kabupaten Manokwari terus meningkat, sementara pasokan masih didominasi oleh Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) yang kurang efisien dan tidak berkelanjutan. Oleh karena itu, pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) menjadi solusi alternatif berbasis Energi Baru Terbarukan (EBT).

Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan turbin air pada PLTM di Sungai Warnasi berdasarkan parameter debit dan tinggi jatuh air. Data perencanaan menunjukkan debit sebesar 7,5 m^3/s dan net head sebesar 70,224 m. Berdasarkan analisis, dipilih turbin tipe Francis yang sesuai untuk kondisi tersebut.

Hasil perencanaan menunjukkan bahwa sistem menggunakan dua unit turbin dengan daya masing-masing sebesar 2.325 kW, sehingga total daya yang dihasilkan mencapai 4,65 MW. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan PLTM di daerah dengan potensi sumber daya air serupa.

Kata kunci, PLTM, Energi Terbarukan, Turbin Francis, Perencanaan, Turbin.

1 Pendahuluan

Ketersediaan energi listrik merupakan salah satu faktor utama dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan pembangunan wilayah. Kabupaten Manokwari, Provinsi Papua Barat, saat ini masih bergantung pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) sebagai sumber utama energi listrik. Ketergantungan tersebut menimbulkan berbagai permasalahan, antara lain tingginya biaya operasional, efisiensi yang relatif rendah, serta dampak lingkungan akibat penggunaan bahan bakar fosil.

Sejalan dengan kebijakan nasional dalam pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT), pemanfaatan energi air melalui Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) menjadi alternatif yang potensial, khususnya untuk wilayah dengan ketersediaan sumber daya air yang memadai. Kabupaten Manokwari memiliki kondisi topografi

yang berbukit serta potensi aliran sungai yang cukup besar, sehingga sangat mendukung pengembangan PLTM sebagai sumber energi yang berkelanjutan.

Salah satu lokasi yang memiliki potensi tersebut adalah Sungai Warnasi yang terletak di Kabupaten Manokwari. Berdasarkan hasil studi lapangan, sungai ini memiliki debit dan tinggi jatuh air (head) yang memenuhi kriteria teknis untuk pembangunan PLTM. Oleh karena itu, diperlukan suatu perencanaan teknis yang optimal, khususnya dalam pemilihan dan perancangan turbin air sebagai komponen utama dalam sistem pembangkit.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jenis turbin yang paling sesuai berdasarkan parameter debit dan head, serta merancang dimensi utama turbin air yang optimal untuk kondisi Sungai Warnasi. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan pembangkit listrik berbasis energi terbarukan, khususnya PLTM, serta menjadi referensi dalam perencanaan sistem serupa di wilayah lain.

2 Material dan Metode Penelitian

2.1. Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan data lapangan dan parameter teknis sebagai bahan utama dalam perencanaan turbin PLTM. Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Alat yang digunakan dalam pengambilan dan pengolahan data meliputi:

Total Station / Automatic Level (pengukuran elevasi topografi)
Current meter / data debit sungai (pengukuran aliran)
Software perhitungan teknik (Microsoft Excel / perhitungan numerik)
Literatur teknis turbin air (grafik pemilihan turbin dan standar desain)

Bahan dalam penelitian ini berupa data teknis hasil survei lapangan dan perencanaan, meliputi:

Data debit aliran Sungai Warnasi
Data topografi (elevasi hulu dan hilir)
Data geometri saluran (intake, penstock, tailrace)
Parameter fisik fluida (air)

2.2. Data Penelitian

Data yang diperlukan dalam perancangan turbin PLTM Warnasi dilakukan dengan metode pengumpulan data yang diperoleh dari hasil survey lapangan dan Analisa. Data utama yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel berikut:

Tabel 1. Data Perencanaan PLTM Warnasi

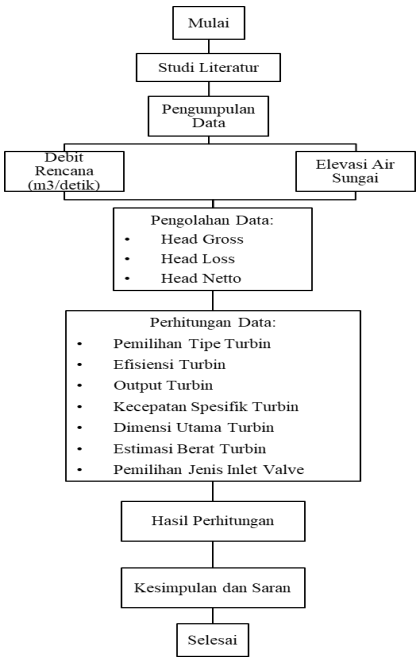
Parameter	Nilai	Satuan
Debit rencana (Q)	7,5	m^3/s
Debit per turbin	3,25	m^3/s
Head netto (H)	70,224	m
Jumlah turbin	2	unit
Efisiensi turbin (η)	0,90	-
Kecepatan putar (N)	750	rpm

2.3. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- Studi Literatur,
- Pengumpulan Data
- Pengolahan Data
- Analisis Data

Berikut merupakan diagram alir penelitian yang akan dilaksanakan:



Gambar 1. Diagram Alir

2.4. Persamaan Dasar

1. Headloss Intake (H_{L1})

$$S_f = \left(\frac{Q_n}{AR^{\frac{2}{3}}}\right)^2, h_f = S_f.L, v = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

2. ***Headloss Penstock*** **(H_{L2})**

$$f = \frac{0{,}25}{\left[log_{10}\left(\frac{\epsilon}{3{,}7D} + \frac{5{,}74}{Re^{0{,}9}}\right)\right]^2} \quad (2)$$

3. Head Netto (Net Head)

$$H_e = H_g - (H_{l1} + H_{l2} + H_{l3}) \quad (3)$$

3 Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengolahan Data

Berdasarkan data hasil survei lapangan dan perencanaan teknis, diperoleh parameter utama yang digunakan dalam perancangan turbin PLTM Warnasi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel berikut.

Tabel 2. Parameter Utama Perencanaan Turbin

Parameter	Nilai	Satuan
Debit total (Q)	7,5	m³/s
Debit per turbin	3,25	m³/s
Head netto (H)	70,224	m
Efisiensi turbin (η)	0,90	-
Jumlah turbin	2	unit

Nilai **head netto sebesar 70,224 m** diperoleh dari hasil pengurangan antara head gross dan total head loss pada sistem, yang meliputi kerugian pada intake, penstock, dan saluran buang (tailrace). Total head loss yang relatif kecil menunjukkan bahwa sistem hidrolik yang direncanakan cukup efisien.

3.2. Analisis Pemilihan Jenis Turbin

Pemilihan jenis turbin dilakukan berdasarkan parameter utama, yaitu head dan debit aliran. Dengan nilai head netto sebesar 70,224 m dan debit per turbin sebesar 3,25 m^3/s, maka kondisi operasi berada pada kategori head menengah dan debit sedang.

Berdasarkan klasifikasi tersebut, turbin yang paling sesuai adalah turbin Francis, karena memiliki karakteristik:

Efisiensi tinggi pada head menengah (50–200 m)
Mampu bekerja pada variasi debit yang cukup luas
Stabil untuk sistem PLTM skala menengah

Hasil ini juga konsisten dengan grafik pemilihan turbin standar, di mana kombinasi head dan debit tersebut berada pada wilayah operasi turbin Francis.

3.3. Analisis Daya Turbin

Daya turbin dihitung berdasarkan parameter debit, head netto, dan efisiensi sistem. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh satu unit turbin adalah sebesar:

Daya per turbin ≈ 2.325 kW
Total daya (2 turbin) ≈ 4,65 MW

Nilai ini menunjukkan bahwa PLTM Warnasi termasuk dalam kategori pembangkit listrik skala menengah (mini-hidro), yang cukup signifikan untuk mendukung kebutuhan listrik daerah.

Secara teknis, besarnya daya yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh nilai head netto dan debit efektif. Oleh karena itu, optimasi pada sistem saluran dan penstock menjadi faktor penting untuk meminimalkan kehilangan energi.

3.4. Analisis Kecepatan Spesifik Turbin

Kecepatan spesifik (Ns) merupakan parameter penting dalam desain turbin untuk menentukan karakteristik putaran dan bentuk runner. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh:

Ns = 199,53 rpm

Nilai tersebut berada pada kategori:

Normal-speed turbine (125–200 rpm)

Hal ini menunjukkan bahwa turbin yang direncanakan termasuk dalam tipe Francis kecepatan normal, yang memiliki keunggulan:

Stabilitas operasi tinggi
Efisiensi optimal pada beban desain
Cocok untuk sistem dengan variasi beban moderat

3.5. Perancangan Dimensi Utama Turbin

Berdasarkan hasil perhitungan hidrolik dan mekanik, diperoleh dimensi utama turbin sebagai berikut:

Tabel 3. Dimensi Utama Turbin Francis

Komponen	Nilai	Satuan
Diameter runner outlet (D3)	0,68	m
Diameter runner inlet (D1)	0,714	m
Diameter rata-rata (Dm)	0,775	m

Dimensi tersebut menunjukkan bahwa turbin yang dirancang memiliki ukuran kompak dan sesuai untuk aplikasi PLTM. Perbandingan dimensi runner juga telah memenuhi rasio desain standar turbin Francis.

3.6. Analisis Sistem Penunjang

1) Sistem Penstock

Kerugian energi pada penstock relatif kecil (±2,434 m), yang menunjukkan bahwa desain diameter dan panjang pipa sudah optimal dalam mengurangi gesekan aliran.

2) Sistem Draft Tube

Draft tube dirancang untuk memaksimalkan pemulihan energi kinetik, sehingga meningkatkan efisiensi total sistem turbin.

3) Pemilihan Generator

Berdasarkan daya turbin, dipilih generator dengan spesifikasi:

Kapasitas: 3000 kVA (3 MVA)
Tegangan: 6,6 kV
Putaran: 750 rpm

Pemilihan ini telah sesuai dengan karakteristik turbin dan sistem jaringan listrik yang direncanakan.

3.7. Pembahasan Umum

Hasil perencanaan menunjukkan bahwa Sungai Warnasi memiliki potensi yang sangat baik untuk pengembangan PLTM. Nilai debit yang stabil dan head yang cukup tinggi memungkinkan penggunaan turbin Francis dengan efisiensi tinggi.

Dari sisi teknis, sistem yang dirancang telah memenuhi kriteria:

Efisiensi hidrolik yang baik (head loss rendah)
Kesesuaian tipe turbin dengan kondisi lapangan
Kapasitas daya yang optimal untuk skala PLTM

Namun demikian, beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam implementasi adalah:

Variasi debit musiman yang dapat mempengaruhi performa turbin
Faktor kavitasi pada turbin akibat tekanan rendah
Kualitas konstruksi penstock untuk meminimalkan kehilangan energi

4 Kesimpulan

Berikan Berdasarkan hasil perencanaan dan analisis yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan data hasil survei, diperoleh debit rencana sebesar 7,5 m^3/s dan head netto sebesar 70,224 m, yang menunjukkan bahwa Sungai Warnasi memiliki potensi yang memadai untuk pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM).

2. Berdasarkan analisis parameter head dan debit, jenis turbin yang paling sesuai adalah turbin Francis dengan konfigurasi poros horizontal, karena mampu beroperasi secara optimal pada kondisi head menengah dan debit sedang.

3. Daya yang dihasilkan dari perencanaan PLTM adalah sebesar 2 × 2.325 kW atau total sekitar 4,65 MW, sehingga termasuk dalam kategori pembangkit listrik skala menengah.

4. Nilai kecepatan spesifik turbin sebesar 199,53 rpm menunjukkan bahwa turbin yang dirancang termasuk dalam kategori Francis kecepatan normal, yang memiliki karakteristik efisiensi dan stabilitas operasi yang baik.

5. Dimensi utama turbin yang diperoleh telah memenuhi kriteria desain turbin Francis, dengan diameter runner outlet sebesar 0,68 m, sehingga mendukung kinerja sistem yang optimal.

6. Sistem pembangkit yang direncanakan didukung oleh pemilihan generator sinkron berkapasitas 3000 kVA yang sesuai dengan karakteristik turbin dan kebutuhan sistem kelistrikan.

Secara keseluruhan, hasil perencanaan menunjukkan bahwa pembangunan PLTM di Sungai Warnasi layak secara teknis dan berpotensi menjadi solusi penyediaan energi listrik yang efisien dan berkelanjutan di Kabupaten Manokwari.

Referensi

[1] P. Breeze, *Power Generation Technologies*, 3rd ed. Oxford, U.K.: Elsevier, 2019.

[2] S. L. Dixon and C. A. Hall, *Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery*, 7th ed. Oxford, U.K.: Butterworth-Heinemann, 2014.

[3] R. K. Rajput, *A Textbook of Power Plant Engineering*, 5th ed. New Delhi, India: Laxmi Publications, 2016.

[4] European Small Hydropower Association (ESHA), *Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant*, Brussels, Belgium, 2018.

[5] U.S. Bureau of Reclamation, *Selecting Hydraulic Reaction Turbines*, Engineering Monograph No. 20, Denver, CO, USA, 2017.

[6] M. J. Ramos, H. M. Ramos, and A. J. Schleiss, "Hydropower and sustainability: Key challenges and future directions," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, pp. 1021–1031, 2018.

[7] A. Paish, "Small hydro power: Technology and current status," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 6, no. 6, pp. 537–556, 2019.

[8] M. Elbatran, O. Yaakob, Y. M. Ahmed, and H. M. Shabara, "Operation, performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines," *Renewable Energy*, vol. 36, no. 7, pp. 1879–1885, 2015.

[9] B. G. G. Rodríguez, J. R. Pérez, and F. Carrillo, "Design and optimization of a Francis turbine for small hydropower plants," *Energy Procedia*, vol. 153, pp. 256–261, 2018.

[10] A. K. Verma and R. Kumar, "Performance analysis of Francis turbine at different operating conditions," *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 10, no. 2, pp. 112–120, 2019.