

**EVALUASI PEMILIHAN GENERATOR DC PADA SISTEM PLTA PORTABEL SKALA MIKRO
UNTUK SUPLAI ENERGI ALAT BERAT DI DAERAH TERPENCIL: STUDI KASUS SUNGAI
SUMATERA VIII****Muhammad Noviansyah Nugraha¹✉, Mutiara Putri¹**¹ Jurusan Teknik Kimia, Program Studi Teknik Energi, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, 30128, Indonesia.

✉mnoviansyahn@polsri.ac.id

*Received 30 July 2025, Revised 6 August 2025, Accepted 8 August 2025***ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja dan kesesuaian spesifikasi generator DC dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) portabel skala mikro berbasis turbin ulir Archimedes, yang dirancang untuk mendukung kebutuhan energi sistem kelistrikan alat berat di wilayah terpencil. Fokus utama penelitian adalah mengkaji ketidaksesuaian karakteristik torsi dan putaran (RPM) minimum dari generator terhadap output mekanik turbin, khususnya dalam konteks pengoperasian alat berat yang memerlukan suplai listrik stabil di lokasi tanpa jaringan listrik umum. Pengujian dilakukan menggunakan generator DC bekas berkapasitas 750 Watt dengan spesifikasi kerja optimal pada 600–800 RPM, sementara turbin hanya mampu menghasilkan maksimum 500 RPM dengan torsi terbatas. Hasil menunjukkan daya teoritis turbin sebesar 664,2 Watt, namun daya listrik aktual hanya mencapai 150 Watt atau sekitar 22–27% efisiensi konversi. Inefisiensi ini disebabkan oleh rasio transmisi pulley yang tidak optimal, torsi awal generator yang terlalu tinggi, serta keausan komponen internal pada generator bekas. Melalui analisis teknis, penelitian ini merekomendasikan penggunaan generator ber-RPM rendah seperti BLDC (Brushless DC) atau Permanent Magnet Generator (PMG) aksial yang lebih kompatibel dengan karakteristik turbin dan lebih andal untuk menyediakan energi keperluan alat berat seperti lampu kerja, sistem kontrol elektronik, atau pengisian baterai pada ekskavator kecil dan alat berat lainnya. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perancangan sistem PLTMH portabel yang efisien dan dapat diintegrasikan sebagai sistem pendukung operasional alat berat di daerah dengan akses listrik terbatas namun memiliki potensi aliran air kecil.

Kata Kunci: PLTA Portable, Generator, Daya, Turbin, Energi

1. PENDAHULUAN

Salah satu tantangan besar yang masih dihadapi Indonesia adalah kesenjangan ketersediaan energi listrik, terutama di daerah terpencil yang belum terjangkau oleh jaringan listrik nasional. Sungai-sungai kecil yang mengalir di sekitar permukiman sebenarnya menyimpan potensi energi yang dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik. Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) skala mikro atau mikrohidro merupakan alternatif yang layak untuk menghadirkan akses energi di wilayah-wilayah tersebut [1].

Dalam sistem mikrohidro, efisiensi pembangkitan sangat bergantung pada harmoni antara turbin yang mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik, dan generator yang kemudian mengubahnya menjadi energi listrik. Salah satu tipe turbin yang banyak digunakan karena desainnya yang sederhana dan efektif pada debit rendah adalah turbin ulir Archimedes. Dalam beberapa riset menunjukkan bahwa turbin ini cocok untuk sungai dengan aliran lambat dan ketinggian rendah, menjadikannya pilihan utama dalam pengembangan sistem mikrohidro skala kecil [2]. Namun, tantangan muncul ketika turbin ini dipasangkan dengan generator yang tidak sesuai karakteristik mekaniknya, misalnya dari segi torsi dan kecepatan rotasi.

Dalam penelitiannya menunjukkan bahwa mismatch antara output turbin dan kapasitas generator dapat menurunkan efisiensi sistem secara signifikan [3]. Hal ini diperparah dengan penggunaan generator bekas atau non-standar [4], yang menyatakan bahwa kondisi fisik generator bekas cenderung menurunkan performa akibat keausan komponen internal. Penambahan flywheel sebagai penstabil torsi telah diteliti oleh Damanik et al. [5], yang membuktikan peningkatan efisiensi sistem secara signifikan dalam kondisi beban berubah-ubah. Beberapa Riset menyarankan penggunaan generator BLDC atau PMG dengan spesifikasi rendah RPM untuk aplikasi mikrohidro agar dapat menyesuaikan dengan torsi yang terbatas dari turbin

kecil [6]. Hal serupa juga diamati dalam beberapa studi yang merekomendasikan pemakaian PMG tipe aksial untuk kestabilan tegangan dan efisiensi pada kisaran RPM rendah [7].

Dalam studi ini, digunakan generator DC bekas berkapasitas 750Watt yang dipasangkan dengan turbin ulir Archimedes pada sistem PLTA portabel di DAS Sumatera VIII. Namun, pengukuran menunjukkan bahwa daya listrik maksimal yang berhasil dihasilkan hanya sekitar 150 Watt. Secara teknis, kondisi ini menandakan ketidaksesuaian antara karakteristik keluaran turbin dan kebutuhan masukan dari generator. Permasalahan ini menuntut adanya evaluasi menyeluruh terhadap pemilihan generator dalam konteks desain sistem mikrohidro portabel.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja generator DC bekas pada sistem PLTA portabel, menganalisis ketidaksesuaian antara daya turbin dan output generator, serta memberikan rekomendasi teknis mengenai jenis dan spesifikasi generator yang lebih tepat untuk digunakan dalam sistem PLTMH yang efisien dan andal, serta hal ini berkorelasi dengan migrasi penggunaan dari Mesin Diesel ke Energi Listrik.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan fokus pada evaluasi performa generator DC dalam sistem PLTA portabel. Metodologi ini dirancang untuk memastikan kesesuaian teknis antara karakteristik mekanis turbin ulir Archimedes dan kebutuhan input generator.

2.1 DESAIN PENELITIAN

Desain penelitian bersifat kuantitatif eksperimental dengan studi kasus langsung di lokasi aliran sungai. Sistem PLTA portabel yang dirancang dengan mempertimbangkan daya keluaran turbin, transmisi daya mekanik, dan karakteristik generator DC.

2.2. PENGUKURAN LAPANGAN

Dalam pengukuran Lapangan, Penulis memulai dengan Pengukuran Head (ketinggian jatuh air) diukur menggunakan *water level stick*. Lalu dilanjutkan dengan Mengukur Kecepatan aliran air diperoleh dari metode pelampung sepanjang 1 meter. Debit air dihitung dari rumus:

$$Q = A \times V \quad (1)$$

2.3. PERHITUNGAN TEORITIS DAYA TURBIN

Dalam Analisa Teoritis Dayaini, Daya input ke turbin dihitung menggunakan formula sebagai berikut:

$$P = \rho \times g \times Q \times H \quad (2)$$

2.4. RANCANGAN SISTEM DAN INSTALASI

Turbin ulir PVC (diameter 30 cm, panjang 80 cm) dipasang pada rangka besi ringan. Lalu Transmisi yang digunakan, menggunakan pulley 3inch (turbin) dan 10 cm

(generator), dihubungkan belt. Pada pemilihan Generator DC 750Watt dipasang sebagai penghasil listrik.

2.5. UJI EKSPERIMEN DAN PENGUKURAN

Dalam pengujian ini, RPM turbin dan generator diukur dengan *tachometer* digital. Pada Tegangan (V) dan arus (I) diukur saat generator diberi beban resistif bertingkat (lampu DC 25W hingga 150W). Dimana Daya output dihitung dengan rumus sbagai berikut:

$$P = V \times I. \quad (3)$$

2.6. ANALISIS EFISIENSI DAN KINERJA

Dalam Analisa ini, Efisiensi sistem dihitung dengan formula sebagai berikut:

$$\eta = (P_{\text{output}} / P_{\text{input}}) \times 100\% \quad (4)$$

Dilakukan evaluasi teknis terhadap kecocokan RPM turbin dengan kebutuhan kerja generator. Metodologi ini mendukung tujuan penelitian dalam menganalisis ketidaksesuaian antara output turbin dan performa generator serta merumuskan spesifikasi generator yang sesuai dengan karakteristik teknis sistem PLTA.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 EVALUASI GENERATOR DC DARI SISI SPESIFIKASI TEKNIS

Generator DC yang digunakan dalam sistem ini memiliki spesifikasi 750 Watt, tegangan 110 Volt, arus 6,5–7 A, dan membutuhkan putaran minimum 600–800 RPM untuk menghasilkan daya secara optimal. Dalam pengujian, RPM aktual dari turbin yang ditransmisikan ke generator hanya berkisar antara 300–500 RPM. Hal ini menyebabkan generator tidak mencapai titik kerja efisiennya. Dari sisi teknik, ini menunjukkan bahwa generator yang digunakan memiliki torsi awal yang terlalu tinggi untuk dapat diputar oleh turbin ulir yang berbahan PVC.

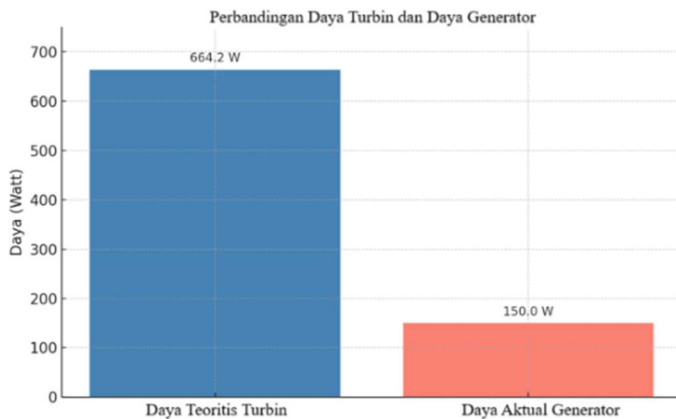
3.2. ANALISIS DAYA TEORITIS DAN DAYA AKTUAL

Daya mekanik teoritis yang dihasilkan turbin dihitung sebesar 664,2 W berdasarkan data debit dan head aliran. Namun, saat dihubungkan ke generator, daya output aktual yang mampu dihasilkan hanya 150 W. Ini berarti hanya sekitar 27,3% dari energi potensial yang dapat dikonversi menjadi energi listrik. Rendahnya efisiensi ini disebabkan oleh:

- Turbin tidak menghasilkan torsi cukup besar untuk memutar rotor generator pada RPM yang dibutuhkan.
- Rasio transmisi antara pulley turbin dan pulley generator belum optimal untuk mempercepat putaran ke level kerja generator.
- Kehilangan energi pada sistem mekanis seperti gesekan pada bearing dan selip pada sabuk transmisi.
- Generator bekas menunjukkan gejala keausan pada brush dan rotor yang menurunkan kemampuan konversi energi.

3.3. PERBANDINGAN GRAFIK DAYA TURBIN DAN OUTPUT GENERATOR

Dalam pembahasan ini, peneliti akan membandingkan Hasil Perbandingan Antara Daya Turbin dengan Hasil Output yang dihasilkan oleh Generator. Berikut Gambar 1 merupakan Grafik Perbandingan Daya Turbin dan Output Generator.



Gambar 1. Perbandingan Grafik Daya Turbin Dan Output Generator

Gambar di atas menunjukkan perbandingan antara daya teoritis yang dihasilkan oleh turbin ulir Archimedes dan daya listrik aktual yang dihasilkan oleh generator DC dalam sistem PLTA portabel skala mikro. Berdasarkan hasil pengujian, turbin mampu menghasilkan daya mekanis teoritis sebesar 664,2 Watt, yang dihitung berdasarkan parameter desain dan karakteristik aliran air sungai pada lokasi studi. Namun, daya listrik aktual yang dihasilkan oleh generator hanya sebesar 150,0 Watt. Selisih yang cukup besar ini mencerminkan efisiensi konversi energi mekanik ke listrik yang sangat rendah, yakni hanya berkisar antara 22% hingga 27%.

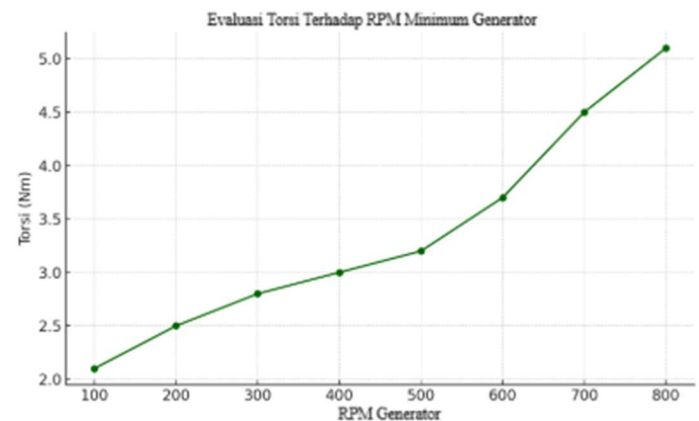
Inefisiensi ini disebabkan oleh beberapa faktor teknis, antara lain ketidaksesuaian antara karakteristik RPM dan torsi turbin dengan spesifikasi kerja generator. Generator yang digunakan memiliki kebutuhan putaran optimal di kisaran 600–800 RPM, sedangkan turbin hanya mampu menghasilkan putaran maksimum 500 RPM. Selain itu, torsi awal generator yang tinggi menyulitkan turbin dalam memutar rotor dengan stabil. Rasio pulley transmisi yang tidak optimal juga gagal meningkatkan RPM ke titik kerja efektif generator. Lebih jauh, kondisi generator bekas yang digunakan dalam pengujian telah menunjukkan tanda-tanda keausan pada brush dan rotor, sehingga menurunkan performa output listrik secara signifikan.

Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun turbin memiliki potensi energi yang cukup besar, sistem konversi yang tidak tepat justru menjadi titik lemah. Untuk mendukung kebutuhan daya alat berat, khususnya sistem kontrol elektronik, lampu kerja, atau pengisian baterai di lokasi terpencil, efisiensi konversi energi perlu ditingkatkan melalui pemilihan generator yang lebih kompatibel. Oleh karena itu, solusi yang

direkomendasikan adalah penggunaan generator tipe BLDC atau PMG aksial yang memiliki karakteristik RPM rendah dan efisiensi konversi tinggi pada putaran kecil. Dengan demikian, sistem PLTMH portabel ini dapat lebih andal sebagai sumber energi alternatif bagi operasional alat berat di wilayah tanpa akses jaringan listrik.

3.4. EVALUASI TORSI DAN RPM MINIMUM GENERATOR

Dalam Tahapan ini, Peneliti mengevaluasi tentang Putaran Torsi yang diuji. Pada Evaluasi ini, akan disajikan Gambar 2, Grafik Evaluasi Torsi dan RPM Minimum Generator.



Gambar 2. Grafik Evaluasi Torsi Dan RPM Minimum Generator

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara torsi dan kecepatan putar (RPM) pada generator DC bekas yang digunakan dalam sistem PLTA portabel skala mikro. Secara umum, grafik memperlihatkan tren kenaikan torsi seiring dengan bertambahnya kecepatan putar generator. Pada 100 RPM, torsi tercatat sekitar 2,1 Nm, kemudian meningkat bertahap hingga mencapai 5,1 Nm pada 800 RPM. Kenaikan torsi ini menggambarkan karakteristik generator yang memerlukan daya mekanik lebih besar untuk menghasilkan kecepatan putar yang lebih tinggi. Artinya, semakin tinggi RPM yang ingin dicapai, semakin besar pula torsi yang harus disuplai oleh sistem penggerak, dalam hal ini turbin ulir Archimedes.

Fenomena ini menjadi salah satu kendala utama dalam implementasi generator tersebut, karena turbin mikro yang digunakan hanya mampu menghasilkan torsi dalam kisaran terbatas dengan kecepatan putar maksimum sekitar 500 RPM. Berdasarkan grafik, pada titik 500 RPM saja, torsi yang dibutuhkan telah mencapai sekitar 3,2 Nm, nilai yang cukup tinggi untuk ukuran turbin mikro dengan debit aliran kecil. Ketidaksesuaian antara torsi yang dibutuhkan oleh generator dan torsi maksimum yang mampu disuplai oleh turbin menjadi faktor utama rendahnya efisiensi konversi energi dalam sistem ini.

Kondisi ini mengindikasikan bahwa generator DC yang digunakan tidak optimal untuk dikombinasikan dengan turbin

berputaran lambat. Sebaliknya, sistem konversi yang lebih sesuai adalah generator dengan torsi awal rendah dan efisiensi tinggi pada RPM kecil, seperti BLDC atau PMG aksial. Penggunaan generator dengan karakteristik tersebut akan memungkinkan sistem PLTMH portabel untuk bekerja lebih efektif, terutama dalam menyuplai daya bagi peralatan alat berat yang memerlukan pasokan listrik stabil, seperti sistem kontrol, sensor, dan pengisian baterai. Dengan demikian, grafik ini menjadi bukti kuat perlunya penyesuaian teknologi generator agar sistem energi terbarukan dapat diintegrasikan secara optimal dengan kebutuhan operasional alat berat di daerah terpencil.

3.5. RELEVANSI MATERIAL DAN EFISIENSI SISTEM

Membahas dampak bobot flywheel (0.5 kg sampai 3 kg) pada efisiensi generator mikro hidro. Ditemukan bahwa flywheel dengan massa rendah (0.5 kg) memberikan efisiensi tertinggi (~77 %), sementara bobot yang lebih besar tidak meningkatkan efisiensi signifikan, menunjukkan pentingnya penyimpanan energi rotasi untuk stabilisasi putaran dan torsi generator [8].

Namun, Material turbin juga memberikan pengaruh terhadap performa sistem. Turbin dari PVC lebih ringan, mudah dirakit, dan murah, namun tidak memiliki inersia rotasi sebesar logam. Kurangnya inersia menyebabkan torsi fluktuatif, apalagi ketika beban berubah. Penggunaan flywheel sebagai penyeimbang torsi direkomendasikan untuk aplikasi turbin ringan seperti ini.

Secara keseluruhan, performa generator tidak optimal karena terjadi mismatch teknis antara daya mekanik turbin dan spesifikasi generator. Analisa ini memperjelas bahwa efisiensi sistem PLTA portabel sangat tergantung pada kesesuaian teknis komponen utama, khususnya rasio RPM, kebutuhan torsi, dan stabilitas tegangan output generator DC.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan sistem PLTA portabel berbasis turbin ulir Archimedes dengan pendekatan teknis yang dapat mendukung kebutuhan energi sistem kelistrikan alat berat di wilayah terpencil. Berdasarkan analisis eksperimental dan data pengukuran lapangan, terbukti bahwa pemilihan generator DC berkapasitas 750Watt tidak cocok jika tidak diimbangi dengan torsi dan RPM minimum yang memadai. Turbin hanya mampu menghasilkan daya aktual sebesar 150 W dari potensi teoritis sebesar 664,2 W, dengan efisiensi konversi sekitar 22–27%. Hal ini juga harus dipertimbangkan dengan kondisi lapangan yang harus disesuaikan dengan penerapan atau penggunaan Generator DC pada lingkungan yang membutuhkan Alat Berat.

Secara teknik, sistem transmisi menggunakan rasio pulley belum optimal dalam meningkatkan RPM ke batas kerja generator. Generator dengan kebutuhan torsi tinggi dan RPM minimal 600–800 tidak dapat berfungsi optimal jika dipasangkan dengan turbin ringan berbahan PVC. Hal ini menegaskan pentingnya penyesuaian karakteristik mekanik turbin dengan spesifikasi kelistrikan generator DC.

Secara teknis, metode pengukuran debit, head, torsi, dan RPM yang digunakan dalam penelitian ini telah menunjukkan pendekatan ilmiah yang akurat dan dapat direplikasi. Evaluasi daya dan efisiensi dilakukan secara terukur, sehingga hasilnya dapat digunakan sebagai dasar pemilihan komponen pada sistem energi mikrohidro serupa.

Dengan pendekatan sistematis, analisis berbasis data, serta temuan teknis yang relevan terhadap tantangan nyata di lapangan, penelitian ini memiliki signifikansi tinggi dalam pengembangan teknologi pendukung alat berat. Temuan ini tidak hanya memberikan solusi teknis terhadap ketidaksesuaian karakteristik generator DC dalam sistem PLTMH mikro, tetapi juga membuka ruang bagi pengembangan sistem suplai energi alternatif yang hemat biaya dan ramah lingkungan, khususnya untuk mendukung operasional alat berat di daerah terpencil.

Penerapan sistem PLTA portabel seperti ini berpotensi menjadi sumber energi utama bagi peralatan bantu alat berat, sistem kontrol elektronik, pengisian baterai, hingga pengoperasian unit alat berat bertenaga listrik. Hal ini menjadi solusi strategis di wilayah yang minim jaringan distribusi PLN, medan sulit dijangkau, atau lokasi dengan potensi aliran air kecil yang belum dimanfaatkan secara optimal. Oleh karena itu, integrasi teknologi energi terbarukan ini dengan sistem kelistrikan alat berat dapat meningkatkan efisiensi operasional serta memperluas cakupan penggunaan alat berat di luar jaringan listrik konvensional.

REFERENSI

- [1] Ramos, H. M. (2000). *Micro-hydro Energy Systems*.
- [2] Damanik, R., Nugroho, F., & Hasyim, M. (2022). Pengaruh Penambahan Flywheel pada Sistem Mikrohidro terhadap Efisiensi Generator. *Jurnal Energi Alternatif*, 6(2), 112–120.
- [3] Wedanta, I. P. W. I., dkk. (2021). *Jurnal Spektrum Vol. 8*.
- [4] Lestari, D., & Mahendra, R. (2021). Studi Eksperimen Pengaruh Beban Terhadap Kinerja Generator DC. *Jurnal Riset Elektro*, 5(4), 101–108.
- [5] Ahmad, S., & Fadilah, T. (2020). Evaluasi Turbin Ulir Archimedes untuk Mikrohidro di Sungai Lambat. *Jurnal Teknologi dan Energi*, 8(1), 45–53.
- [6] Zainuri, dkk. (2021). Studi Material Turbin Mikrohidro. 12
- [7] Priyono, S., & Hidayat, A. (2021). Studi Penggunaan Generator Magnet Permanen Tipe Aksial untuk Pembangkit Mikrohidro. *Jurnal Elektro Terapan*, 10(3), 78–86.
- [8] Ulfiana, A., Nufus, T. H., Santoso, B., Yuwono, B., & Jannus, P. (2022). Effect of Flywheel Weight on Generator Efficiency in Micro Hydro Power Plants. *Proceedings of the 11th International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems (SMARTGREENS 2022)*.
- [9] Kusumanto, R., & Noviansyah Nugraha, M. (2023). Archimedes Screw Turbine Application on Portable Mini Hydropower Plant. *The Research of Mechanical Engineering-Jurnal Polimesin*.

- [10] Nugraha, M. N., Kusumanto, R. D., & Indrayani. (2021). Preliminary Analysis of Mini Portable Hydro Power Plant Using Archimedes Screw Turbine. *Proceedings - 2nd International Conference on Computer Science and Engineering: The Effects of the Digital World After Pandemic (EDWAP), IC2SE 2021*. <https://doi.org/10.1109/IC2SE52832.2021.9791966>
- [11] Rahmawati, Y., & Subekti, T. (2023). Evaluasi Kinerja Generator RPM Rendah pada PLTA Skala Mikro. *Jurnal Teknologi Rekayasa*, 7(1), 30–38.
- [12] Saefudin, E., dkk. (2017). *Jurnal Rekayasa Hijau*, Vol. I No.3.
- [13] Surya, A. R., & Handoko, E. (2022). Evaluasi Kinerja Generator DC pada Sistem Mikrohidro dengan Variasi Beban. *Jurnal Energi Terbarukan*, 11(2), 55-63.
- [14] Wibowo, F., & Putri, D. A. (2023). Desain Generator BLDC untuk Aplikasi Mikrohidro Berbasis Sungai. *Jurnal Teknologi Energi*, 9(1), 22–30.