

PERANCANGAN TURBIN VORTEX MIKROHIDRO BERDASARKAN ANALISIS POTENSI DAYA DAN SIMULASI

Muhamad Denis Pratama¹, Wisnu Wijaya²
^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sangga Buana

¹ korespondensi: denispratama061@gmail.com

ABSTRACT

The uneven availability of electricity, especially in remote areas, is driving the development of small-scale renewable energy-based power generation systems. One potential solution is a microhydro system with a vortex turbine, which can utilize low-flow water without requiring a large dam. This research aims to design and test a small-scale microhydro vortex turbine prototype using a power potential analysis approach and Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations to obtain an efficient and optimal design. The research stages include analyzing water flow characteristics, calculating power potential based on flow rate and water drop height, and simulating vortex flow within the turbine tank to determine optimal geometry. The design results in a vortex turbine prototype capable of operating at a flow rate of 0.231 m³/s. Performance testing yielded a potential power of 226.6 watts with an energy conversion efficiency of 46.24%. This achievement demonstrates that despite its small size, the turbine has good capability in converting water's potential energy into electrical energy. This design also proves that the CFD simulation approach can help optimize fluid flow performance within the turbine system. The developed prototype has the potential to be further developed as an environmentally friendly power generation solution in regions with limited access to the main power grid.

Keywords: Renewable Energy, Water Energy, Vortex Turbine, Micro Hydro Power Plant, CFD, Energy Conversion

ABSTRAK

Ketersediaan energi listrik yang belum merata, terutama di daerah terpencil, mendorong pengembangan sistem pembangkit listrik skala kecil berbasis energi terbarukan. Salah satu solusi yang potensial adalah sistem mikrohidro dengan turbin vortex, yang mampu memanfaatkan aliran air berdebit rendah tanpa memerlukan bendungan besar. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji prototipe turbin vortex mikrohidro skala kecil dengan pendekatan berbasis analisis potensi daya serta simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) guna memperoleh desain yang efisien dan optimal. Tahapan penelitian meliputi analisis karakteristik aliran air, perhitungan potensi daya berdasarkan debit dan ketinggian jatuh air, serta simulasi aliran vortex dalam tangki turbin untuk menentukan geometri optimal. Hasil perancangan menghasilkan prototipe turbin vortex yang mampu beroperasi pada debit aliran sebesar 0,231 m³/s. Dari hasil pengujian performa, diperoleh daya potensial sebesar 226,6 watt dengan efisiensi konversi energi sebesar 46,24%. Capaian ini menunjukkan bahwa meskipun berukuran kecil, turbin memiliki kemampuan yang cukup baik dalam mengubah energi potensial air menjadi energi listrik. Rancangan ini juga membuktikan bahwa pendekatan simulasi CFD mampu membantu dalam mengoptimalkan performa aliran fluida di dalam sistem turbin. Prototipe yang dikembangkan berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai solusi pembangkit listrik ramah lingkungan di wilayah yang memiliki akses terbatas terhadap jaringan listrik utama.

Kata Kunci: Energi Terbarukan, Energi Air, Turbin Vortex, Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, CFD, Konversi Energi

PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi terbarukan sangat penting untuk mengurangi dampak terhadap lingkungan, misalnya pencemaran udara dan perubahan iklim. Sumber utamanya berasal dari tenaga air, angin, matahari, dan biomassa,

berpeluang besar untuk dikembangkan di Indonesia (1). Salah satu contoh penerapan energi terbarukan yang sudah lama dimanfaatkan adalah pembangkit listrik tenaga air (PLTA) (2). PLTA mengkonversi energi potensial dan kinetik dari air menjadi

listrik melalui beberapa komponen, seperti bendungan, pipa pesat, rumah turbin, dan generator (3). Kinerja PLTA sangat dipengaruhi oleh besarnya debit air dan kondisi lingkungan di sekitarnya, sehingga analisis terhadap debit air sangat penting untuk menentukan kapasitas serta keberlanjutan operasional PLTA (4).

Secara umum, ada dua jenis turbin berdasarkan cara kerjanya, yaitu turbin impuls (yang sesuai untuk debit kecil) dan turbin reaksi (yang cocok untuk debit besar) (5). Turbin air memanfaatkan aliran air untuk memutar turbin. Performa turbin air sangat dipengaruhi oleh kecepatan dan debit aliran air, sehingga efisiensi serta daya turbin biasanya meningkat, karena gaya tangensial pada sudu juga bertambah sehingga torsi dan daya mekanik yang dihasilkan menjadi lebih besar (6). Turbin air banyak diterapkan baik

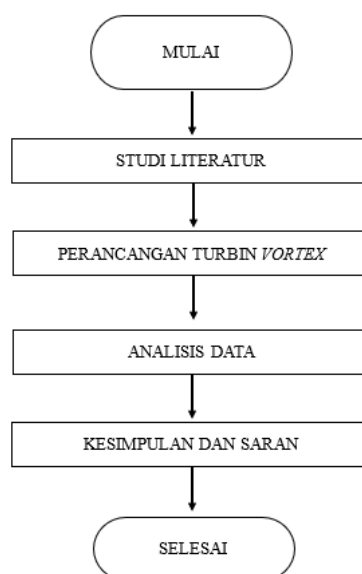
pada pembangkit listrik skala besar maupun mikrohidro (7).

Turbin vortex merupakan inovasi terbaru dalam teknologi turbin air yang dirancang untuk memanfaatkan head rendah dan debit air kecil, sehingga sangat sesuai untuk wilayah datar atau sungai dengan potensi energi air yang terbatas (8). Turbin *vortex* bekerja dengan memanfaatkan pusaran air (*vortex*) yang terbentuk di dalam kolam spiral untuk memutar sudu turbin (9). Keunggulan utama turbin vortex adalah kemampuannya beroperasi secara optimal pada debit air rendah dan tanpa memerlukan bendungan besar (10).

METODE PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian

Dalam proses penelitian akan ditampilkan sebagai berikut dari diagram alir penelitian yang terdiri dari beberapa tahapan.



Gambar 1: Diagram Alir Penelitian

Perancangan

Peneliti menggunakan *software* untuk membantu dalam proses perancangan turbin vortex. yaitu menggunakan *software SolidWork 2023*.

1. Basin/kolam vortex menggunakan Jolang berdiameter 50cm, tinggi head kolam 10cm, lubang buang 25cm.
2. Rangka penyangga menggunakan besi hollow dengan ukuran 2x2cm. Dengan dimensi rangka tinggi 45cm dan lebar 45cm.
3. Saluran masuk air memakai plat *pvc* dengan panjang 100cm, lebar 60cm dan tinggi 10cm.
4. Sudut pada perancangan ini sudu dibuat dengan bentuk lengkung. Untuk penelitian ini digunakan diameter sudu $1/6$ dikali jari - jari basin, lalu tinggi sudu 15cm dan 6 bilah sudu.

Jari - jari sudu dihitung: $r \text{ sudu} = 1/6 \times$

$$50\text{cm} = 8,3\text{cm}$$

Maka jari-jari sudu berukuran 8,3 cm digunakan pada penelitian ini

5. Generator yang digunakan merupakan generator dengan tipe DC dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tengangan nominal: 12 V

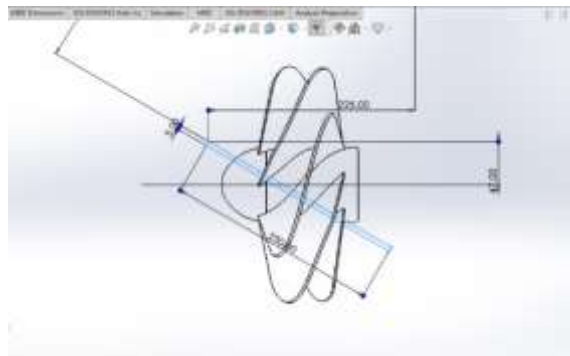
Arus nominal: 10 A

Kecepatan nominal: 1500 rpm

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan

Dalam perancangan desain memakai *software Solidwork 2023* dikarenakan *software* ini yang dipelajari pada salah satu mata kuliah yang diterapkan di Universitas Sangga Buana YPKP Bandung. Proses desain dilakukan dengan pembuatan komponen satu persatu sampai dengan penggabungan komponen. Berikut merupakan gambar desain yang telah dibuat:



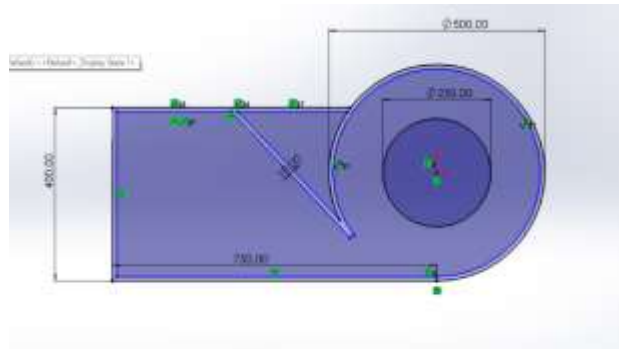
Gambar 2: Sudu Turbin

1. Sudu Turbin

Sudu pada perancangan ini sudu dibuat dengan bentuk lengkung. Untuk penelitian ini digunakan diameter sudu $1/6$ dikali jari - jari

basin, lalu tinggi sudu 15cm dan 6 bilah sudu.

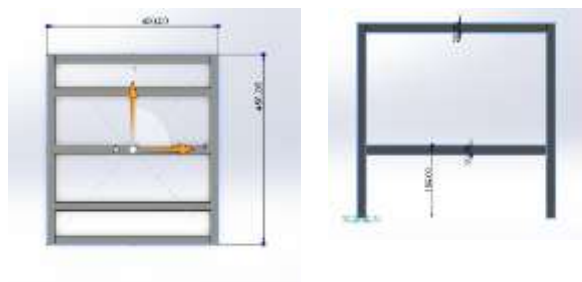
Jari - jari sudu dihitung: $r \text{ sudu} = 1/6 \times 50\text{cm} = 8,3\text{cm}$. Maka jari-jari sudu berukuran 8,3 cm digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3: Basin Turbin

2. Basin

Basin/kolam vortex menggunakan diameter 50cm, tinggi head kolam 10cm, lubang keluar air 25cm dan panjang saluran masuk 80cm.



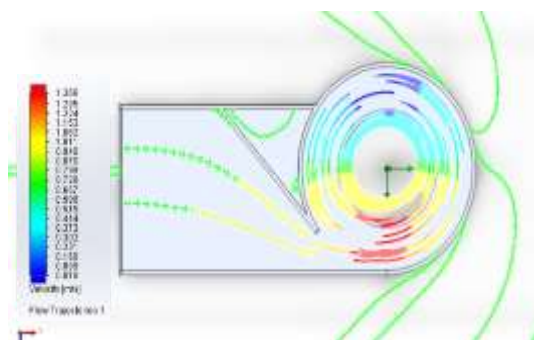
Gambar 4: Rangka Penyangga

3. Rangka Penyangga

Rangka penyangga menggunakan tebal besi 2x2cm dengan dimensi keseluruhan yaitu tinggi 45cm dan lebar 45cm.

HASIL PENELITIAN

Dari penelitian ini dilakukan beberapa perhitungan sebagai acuan perancangan, berikut beberapa perhitungan:



Gambar 5: Simulasi CFD

1. Simulasi CFD

Simulasi CFD ini menunjukkan bagaimana debit aliran air meningkat kecepatannya saat memasuki dan melewati sudu turbin. Warna merah di area rotor menunjukkan bahwa air memberikan dorongan maksimal di sana. Pada skala menunjukan aliran terendah sebesar 0,018 m/s dan aliran tertinggi sebesar 1,36 m/s. Data yang diambil adalah yang tertinggi yaitu 1,36 m/s dikarenakan aliran tertinggi terjadi saat menyentuh sudu turbin.

2. Perhitungan Debit

Untuk menghitung debit digunakan persamaan

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

Diketahui:

$$A : 0,17 \text{ m}^2$$

$$V : 1,36 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,17 \times 1,36 = 0,231 \text{ m}^3/\text{s}$$

Perhitungan debit dilakukan dengan mengalikan luas penampang saluran air dengan kecepatan aliran air. Dalam kasus ini:

- a. Luas penampang saluran adalah 0,17 m², artinya area melintang dari saluran tempat air mengalir.
- b. Kecepatan aliran air adalah 1,36 m/s, yang merupakan kecepatan rata-rata aliran air di saluran tersebut.

Dengan memasukkan nilai-nilai tersebut ke dalam rumus $Q=A \times V$, diperoleh debit sebesar

0,231 m³/s, yang menunjukkan bahwa setiap detik, sebanyak 0,231 meter kubik air mengalir melalui penampang saluran.

3. Perhitungan Potensi Daya

Potensi daya yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan persamaan

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

Diketahui:

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

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

$$Q = 0,238 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 0,1 \text{ m}$$

$$P = 1000 \times 9,81 \times 0,231 \times 0,1 = 226,6 \text{ Watt}$$

Pada perhitungan ini:

Air mengalir dengan debit 0,231 m³/s,

Jatuh dari ketinggian 0,1 meter,

Menghasilkan potensi daya sekitar 226,6 Watt, yang cukup untuk kebutuhan energi kecil jika dikonversi dengan efisiensi yang baik.

Hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa aliran air dengan debit dan ketinggian tersebut mampu menghasilkan potensi daya sebesar 226,6 Watt

4. Perhitungan Torsi

Torsi yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan persamaan

$$T = g \times D \quad \dots\dots\dots (3)$$

Diketahui:

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

$$D = 0,5 \text{ m}$$

$$T = 9,81 \times 0,5 = 4,9 \text{ Nm}$$

Berdasarkan data yang diberikan, percepatan gravitasi adalah $9,81 \text{ m/s}^2$ dan diameter basin adalah $0,5 \text{ meter}$. Dengan memasukkan nilai-nilai tersebut ke dalam rumus, maka diperoleh torsi sebesar $4,905 \text{ Nm}$, yang kemudian dibulatkan menjadi $4,9 \text{ Nm}$.

5. Perhitungan Efisiensi

Efisiensi turbin dapat dihitung menggunakan persamaan

$$\eta = \frac{P}{T} \dots\dots\dots (4)$$

Diketahui:

$$P = 226,6 \text{ (Watt)}$$

$$T = 4,9 \text{ (Nm)}$$

$$\eta = \frac{226,6}{4,9} = 46,24$$

Berdasarkan data yang diperoleh, daya yang dihasilkan adalah sebesar $226,6 \text{ Watt}$, sedangkan torsi yang dihasilkan sebesar $4,9 \text{ Nm}$. Dengan memasukkan nilai-nilai tersebut ke dalam rumus, diperoleh efisiensi sebesar $46,24\%$. Artinya, sekitar $46,24\%$ dari energi mekanik yang tersedia digunakan secara efektif untuk menghasilkan daya, sementara sisanya hilang bisa diakibat gesekan, turbulensi, atau faktor lainnya.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan terhadap prototipe turbin vortex skala kecil, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

Perancangan prototipe turbin vortex skala kecil telah berhasil dibuat, sehingga dapat dijadikan dasar untuk pengembangan lebih lanjut. Dari hasil pengujian, diperoleh daya potensial sebesar $226,6 \text{ W}$ pada debit aliran sebesar $0,231 \text{ m}^3/\text{s}$, yang menunjukkan bahwa turbin ini mampu memanfaatkan energi aliran air secara cukup signifikan. Selain itu, efisiensi turbin yang dihasilkan mencapai $46,24 \%$, yang menunjukkan bahwa meskipun skala kecil, turbin ini memiliki kinerja yang cukup baik dalam mengkonversi energi potensial menjadi energi listrik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Gusti Muttaqin I, Sucipta M, Suarda M. Simulasi Computational Fluid Dynamic pada Model Turbin Vortex Variasi Kecepatan Rotasi Runner. SIBATIK JOURNAL: Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, dan Pendidikan. 2022 Jul 14;1 (8):1445–54.
2. Fera Syafitri N, Permatasari R. Analisis Profil Sudu Turbin Mikro Hidro Vortex untuk Mendapatkan Efisiensi Optimum. Vol. 4, Seminar Nasional Cendekiawan ke. 2018.
3. Syarief A, Isworo H, Yani Km 36 Banjarbaru J: A, Selatan K. Simulasi Turbin Air Kaplan pada PLTMH di Sungai Sampanahan Desa Magalau Hulu Kabupaten Kotabaru. 2015.
4. Lukman A, Harahap R, Hardianto AT. Analisa Debit Air untuk Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Peusangan I Takengon

- Kabupaten Aceh Tengah [Internet]. Vol. 2, JTSIP. 2020. Available from: <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/JTSP>
5. Hidayatulloh N, Santoso B, Ekayuliana A, Studi Teknik Konversi Energi P, Teknik Mesin J, Negeri Jakarta P, et al. Analisa Perbandingan Daya Turbin Crossflow dan Sentrifugal Pada PLTMH. Prosiding Semnas Mesin PNJ. 2022;
 6. Simamora MS. Perancangan Alat Uji Prestasi Turbin Pelton. 2019.
 7. Abimanyu Y, Sudarti S, Yushardi Y. Rancang Bangun Sistem Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro pada Daerah Irigasi Sawah Aliran Rendah. Phydagogic : Jurnal Fisika dan Pembelajarannya. 2023 Oct 30;6 (1):33–7.
 8. Posdam R, Sihombing J, Gultom S. Analisa Efisiensi Turbin Vortex Dengan Casing Berpenampang Lingkaran Pada Sudu Berdiameter 56 Cm Untuk 3 Variasi Jarak Sudu Dengan Saluran Keluar. Jurnal e-Dinamis. 2014;10 (2).
 9. I Gusti Ngurah Agastya Citranatha. Analisis Daya Output Generator Berdasarkan Variasi Debit Air pada Prototype Pltmh Dengan Turbin Vortex. 2022;
 10. Muliawan A, Yani A. Analisis Daya dan Efisiensi Turbin Air Kinetis Akibat Perubahan Putaran Runner. Vol. 8, Journal of Sainstek. 2016.