

ANALISIS PERFORMA TURBIN TESLA DENGAN VARIASI JARAK ANTAR DISC DAN KECEPATAN PUTAR DISC SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK PICOHYDRO MENGGUNAKAN PENDEKATAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Raya Juan Soesatya¹, Mohammad Tauviqirrahman², Sulisty²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: rayjuns13@gmail.com

Abstrak

Pemanfaatan energi baru terbarukan melalui teknologi *picohydro* menjadi solusi strategis dalam mengatasi krisis energi di daerah terpencil. Turbin Tesla muncul sebagai inovasi potensial karena desainnya yang sederhana tanpa sudu, yang bekerja memanfaatkan gaya gesek viskositas fluida melalui efek lapisan batas (*boundary layer*). Namun, efisiensi turbin ini sangat sensitif terhadap parameter geometris, terutama celah antar piringan (*gap disc*), yang menentukan seberapa optimal transfer momentum dari fluida ke piringan rotor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jarak antar piringan terhadap performa mekanik turbin Tesla melalui pendekatan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) 3D guna menangkap fenomena aliran spiral yang tidak terdeteksi pada pemodelan 2D. Simulasi dijalankan menggunakan perangkat lunak ANSYS Fluent 2024 R2 dengan fluida kerja air (*water-liquid*). Variasi celah yang diuji adalah 0,4 mm, 0,8 mm, dan 1,2 mm dengan rentang kecepatan rotasi 1000 hingga 4000 RPM. Hasil simulasi menunjukkan bahwa distribusi tekanan dan kecepatan aliran sangat dipengaruhi oleh ruang antar piringan. Konfigurasi celah 1,2 mm memberikan hasil paling optimal dengan perolehan torsi sebesar 0,052985545 Nm dan daya sebesar 5,5458204 Watt. Temuan ini mengindikasikan bahwa pada fluida dengan viskositas seperti air, celah yang terlalu sempit justru menghambat pembentukan lapisan batas yang efektif, sehingga celah 1,2 mm menjadi titik keseimbangan terbaik dalam penelitian ini.

Kata kunci: *cf*d (*computational fluid dynamics*); jarak antar piringan; *picohydro*; turbin tesla

Abstract

The utilization of renewable energy through picohydro technology is a strategic solution to address energy crises in remote areas. The Tesla turbine emerges as a potential innovation due to its simple bladeless design, which operates by utilizing fluid viscous drag through the boundary layer effect. However, the turbine's efficiency is highly sensitive to geometric parameters, particularly the gap between disks (disk gap), which determines the optimal momentum transfer from the fluid to the rotor disks. This study aims to analyze the effect of variations in disk spacing on the mechanical performance of the Tesla turbine using a 3D Computational Fluid Dynamics (CFD) approach to capture spiral flow phenomena that remain undetected in 2D modeling. Simulations were conducted using ANSYS Fluent 2024 R2 software with water-liquid as the working fluid. The tested gap variations were 0.4 mm, 0.8 mm, and 1.2 mm, within a rotational speed range of 1000 to 4000 RPM. The simulation results indicate that pressure distribution and flow velocity are significantly influenced by the spacing between disks. The 1.2 mm gap configuration yielded the most optimal results, achieving a torque of 0.052985545 Nm and a power output of 5.5458204 Watts. These findings suggest that for fluids with the viscosity of water, excessively narrow gaps inhibit the formation of an effective boundary layer; thus, the 1.2 mm gap represents the most balanced equilibrium point in this study.

Keywords: *cf*d (*computational fluid dynamics*); *disk gap*; *picohydro*; *tesla turbine*

1. Pendahuluan

Peningkatan kebutuhan energi listrik global serta isu krisis energi di wilayah terpencil mendorong pengembangan teknologi energi terbarukan yang efisien dan berkelanjutan. Salah satu potensi strategis di Indonesia adalah pemanfaatan energi mikrohidro dan *picohydro*, mengingat ketersediaan sumber daya air yang melimpah di wilayah pedesaan [1]. Pengembangan sistem *picohydro* saat ini diarahkan pada teknologi yang memiliki biaya manufaktur rendah dan ketahanan operasional yang tinggi [2]. Namun, turbin konvensional seringkali menghadapi kendala pada geometri sudu yang kompleks dan kerentanan terhadap abrasi akibat sedimen pada aliran air [3].

Turbin Tesla hadir sebagai solusi inovatif dalam sistem konversi energi tanpa menggunakan sudu (*bladeless turbine*). Turbin ini bekerja berdasarkan prinsip gaya gesek viskositas dan efek lapisan batas (*boundary layer*) yang terbentuk di antara piringan-piringan (*disks*) sejajar [4]. Transfer momentum dari fluida ke rotor terjadi saat fluida bergerak spiral dari diameter luar menuju pusat piringan, sehingga performa turbin sangat bergantung pada profil aliran di dalam celah sempit tersebut [5]. Keunggulan utama turbin ini adalah kemampuannya menangani fluida yang mengandung partikel padat serta kemudahan dalam proses produksi dibandingkan turbin impuls atau reaksi konvensional [6].

Meskipun memiliki desain yang sederhana, efisiensi turbin Tesla sangat sensitif terhadap parameter geometris dan operasional. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa jarak antar piringan (*gap*) dan kecepatan rotasi (*RPM*) merupakan faktor penentu utama dalam optimalisasi torsi dan daya [7]. Joseph dkk. (2021) melakukan investigasi CFD untuk menganalisis performa turbin Tesla, namun masih terbatas pada pemodelan dua dimensi (2D) yang tidak mampu menangkap fenomena aliran spiral secara spasial dan interaksi viskositas yang lebih kompleks [8]. Di sisi lain, penggunaan fluida air memerlukan pemahaman mendalam mengenai karakteristik lapisan batas viskos yang berbeda dibandingkan dengan fluida gas atau udara [9].

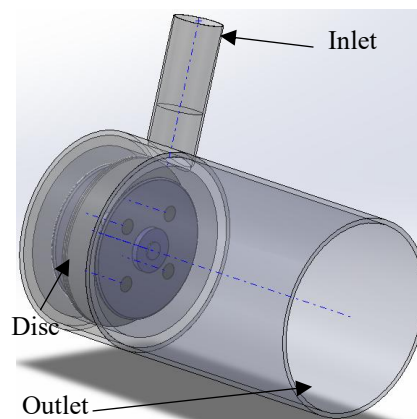
Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) tiga dimensi (3D) menggunakan perangkat lunak ANSYS Fluent 2024 R2 untuk memperoleh analisis yang lebih komprehensif. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan pengaruh variasi *gap* (0,4 mm; 0,8 mm; dan 1,2 mm) serta kecepatan putar terhadap distribusi tekanan dan perolehan daya mekanik. Dengan mengintegrasikan parameter fisik air sebagai fluida kerja, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teknis dalam optimasi perancangan turbin Tesla untuk aplikasi pembangkit listrik *picohydro* masa depan [10].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode simulasi numerik berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan perangkat lunak ANSYS 2024 R2 untuk menganalisis karakteristik aliran fluida pada domain tiga dimensi melalui tiga tahapan utama, yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*. Pada tahap *pre-processing*, dilakukan pembuatan geometri turbin Tesla dengan diameter piringan 205 mm dan diskritisasi domain menggunakan *Fluent Meshing* yang menghasilkan 2.043.778 sel dengan kualitas jaring yang memenuhi standar, yaitu *minimum orthogonal quality* 0,1503 dan *maximum skewness* 0,8497. Konfigurasi fisik melibatkan pemilihan model turbulensi SST k-omega untuk menangkap profil *boundary layer* serta pengaturan *cell zone* menggunakan fitur *Frame Motion* pada fluida *water-liquid* untuk memodelkan rotasi piringan. Selanjutnya, tahap *processing* dilakukan dengan perhitungan iteratif berdasarkan persamaan Navier-Stokes pada variasi kecepatan 1000 hingga 4000 RPM. Tahap akhir atau *post-processing* mencakup ekstraksi data performa mekanik berupa torsi dan daya, serta visualisasi kontur tekanan dan jalur aliran (*pathlines*) untuk membandingkan efektivitas variasi celah piringan (*gap*) 0,4 mm, 0,8 mm, dan 1,2 mm.

2.1 Geometri Penelitian

Pemodelan geometri dalam penelitian ini dilakukan dalam ranah tiga dimensi (3D) menggunakan perangkat lunak *Computer Aided Design* (CAD) untuk merepresentasikan seluruh komponen fisik turbin secara akurat. Geometri turbin Tesla dirancang mengadopsi model eksperimen yang disesuaikan untuk skala *picohydro* guna memperoleh analisis karakteristik aliran spiral yang lebih komprehensif dibandingkan model dua dimensi. Domain komputasi yang dibentuk mencakup komponen utama berupa saluran masuk (*nozzle*), piringan rotor (*disk*), poros, serta saluran keluar (*outlet*) pada pusat turbin. Struktur geometri ini nantinya akan dibagi menjadi zona *stationary* pada bagian rumah turbin (*casing*) dan zona *rotary* di area sekitar piringan rotor untuk mengakomodasi simulasi rotasi dengan metode *Frame Motion*.



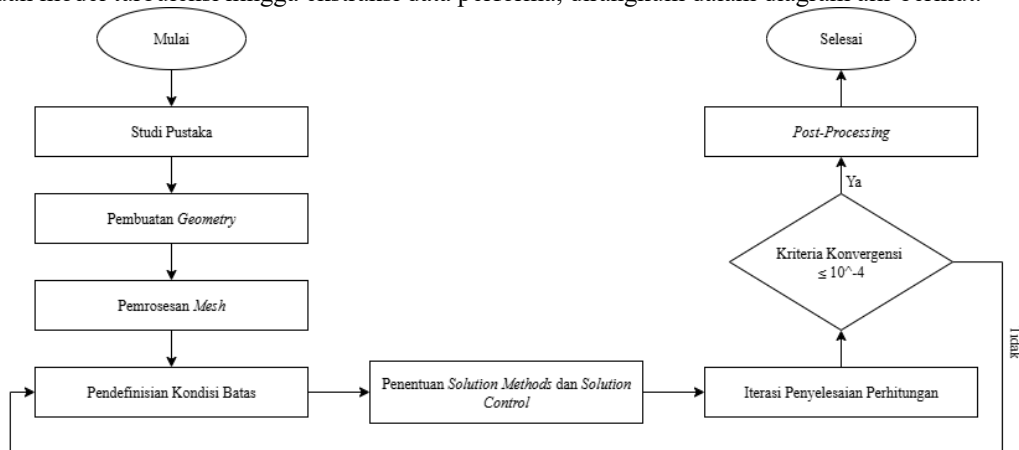
Gambar 1. Konfigurasi Turbin Tesla

Geometri turbin Tesla yang digunakan dalam tugas akhir ini mengadopsi geometri eksperimen penelitian Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro dengan spesifikasi teknis yang digunakan dalam simulasi ini mencakup rotor turbin yang terdiri dari sepasang piringan (*disk*) dengan diameter luar sebesar 95,2 mm dan diameter poros dalam sebesar 25 mm. Setiap piringan memiliki ketebalan tetap sebesar 1,1 mm yang ditempatkan di dalam rumah turbin berdiameter luar 107,5 mm serta diameter dalam 26,72 mm. Fokus utama dalam perancangan geometri ini terletak pada pengaturan jarak antar piringan (*gap*) yang divariasikan sebesar 0,4 mm, 0,8 mm, dan 1,2 mm untuk mengevaluasi pengaruh celah terhadap transfer momentum viskos. Penentuan dimensi yang presisi ini menjadi basis utama dalam pembentukan jaring elemen (*meshing*) pada tahap *pre-processing*, yang secara langsung menentukan akurasi profil kecepatan dan distribusi tekanan fluida kerja air di sepanjang lintasan spiral dari sisi masuk hingga mencapai saluran keluar.

Penelitian ini difokuskan pada pengembangan turbin Tesla untuk aplikasi *picohydro*, yaitu pembangkit listrik tenaga air skala sangat kecil dengan output di bawah 5 kW. Pemilihan skala ini didasarkan pada keunggulan turbin Tesla yang mampu beroperasi secara efektif pada debit air rendah dengan memanfaatkan interaksi viskositas fluida, sehingga sangat ideal untuk memenuhi kebutuhan energi mandiri di daerah yang memiliki potensi aliran air kecil.

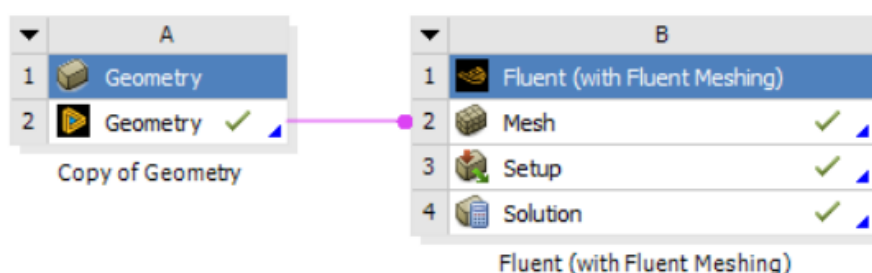
2.2 Simulation Setup

Berbeda dengan metode eksperimen yang keakuratannya bergantung pada presisi alat ukur, akurasi pada simulasi numerik turbin Tesla ini ditentukan oleh kualitas diskritisasi domain fluida. Simulasi ini menerapkan *Finite Volume Method* (FVM) sebagai basis perhitungan pada perangkat lunak ANSYS Fluent 2024 R2. Dalam penelitian ini, simulasi dijalankan pada kondisi *steady state* dengan variasi kecepatan putaran rotor dari 300, 650, dan 1000 rpm. Fluida kerja berupa air (*water-liquid*) dialirkan melalui saluran masuk (*inlet*) dengan kondisi batas yang telah ditentukan untuk menggerakkan piringan rotor melalui transfer momentum viskos. Alur kerja sistematis dalam proses simulasi ini, mulai dari penentuan model turbulensi hingga ekstraksi data performa, dirangkum dalam diagram alir berikut.



Gambar 2. Diagram Alir Simulasi pada ANSYS Fluent

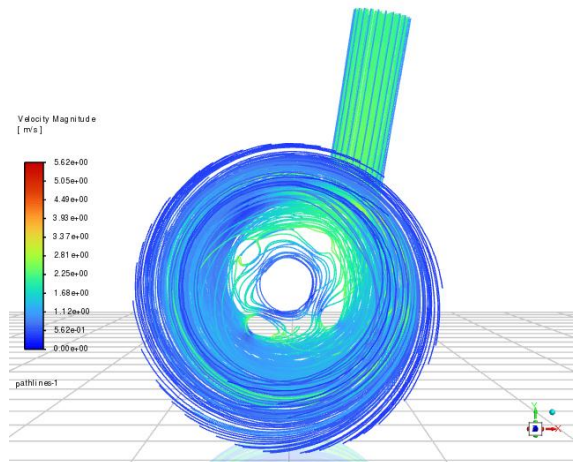
Keseluruhan proses simulasi turbin Tesla 3D ini dikelola melalui skema proyek terintegrasi pada perangkat lunak ANSYS 2024 R2. Alur kerja sistematis dimulai dari sistem *Fluent with Meshing* yang digunakan untuk mendefinisikan geometri turbin serta melakukan diskritisasi domain fluida menjadi jaring elemen *polyhedral*. Data jaring yang dihasilkan kemudian secara otomatis ditransfer ke dalam sistem *Fluid Flow* (*Fluent*) sebagai input utama untuk pengaturan parameter *solver*. Pada skema ini, hubungan antar sistem memastikan bahwa seluruh properti material, kondisi batas (*boundary conditions*), dan model turbulensi SST k-omega yang telah ditetapkan dapat dihitung secara sinkron. Integrasi ini juga memungkinkan proses optimasi dan variasi parameter, seperti perubahan kecepatan rotasi (300, 650, 1000 RPM) dan jarak antar piringan (*gap*), dilakukan dengan alur kerja yang efisien guna meminimalkan risiko kesalahan transfer data antar modul. Melalui skema terpadu ini, hasil perhitungan dari tahap *processing* dapat langsung diekstraksi ke bagian *Results* untuk visualisasi kontur tekanan, kontur kecepatan, dan jalur aliran spiral yang menjadi karakteristik utama turbin Tesla.



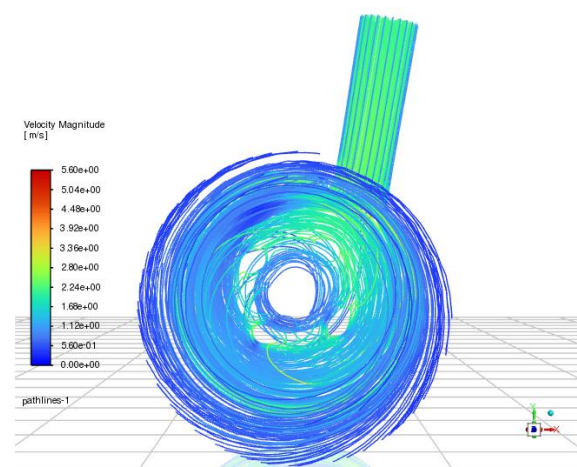
Gambar 3. Project Schematic untuk CFD pada Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

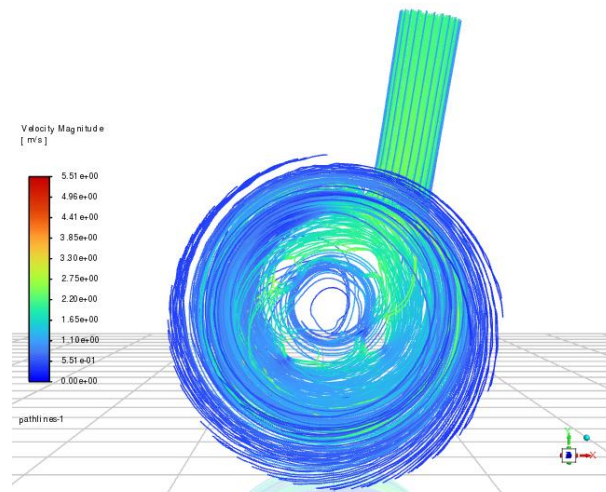
Untuk menentukan model yang paling optimal, analisis dilakukan dengan membandingkan performa ketiga variasi *gap* pada kecepatan rotasi tertinggi, yaitu 1000 RPM. Berdasarkan data simulasi, gambar *pathlines* antar variasi *gap* serta grafik perbandingan torsi dan daya terhadap kecepatan rotasi menunjukkan tren yang konsisten pada setiap parameter uji.



Gambar 4. Pathlines 0,4 (1000 RPM)

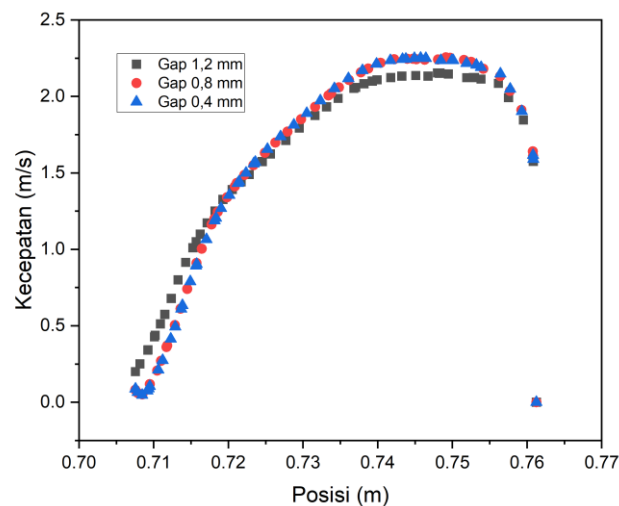


Gambar 5. Pathlines 0,8 (1000 RPM)



Gambar 6. Pathlines 1,2 mm (1000 RPM)

Visualisasi *pathlines* pada kecepatan 1000 RPM menunjukkan perbedaan karakteristik lintasan spiral fluida yang signifikan akibat variasi *gap*. Pada *gap* 0,4 mm, lintasan spiral yang sangat rapat didominasi warna biru tua, mengindikasikan degradasi kecepatan yang cepat akibat hambatan gesek dinding (*skin friction*) dan interferensi lapisan batas yang tumpang tindih. Sebaliknya, hasil paling optimal ditunjukkan oleh *gap* 1,2 mm; meskipun lintasan spiralnya lebih renggang, fluida mampu mempertahankan kecepatan tinggi (gradasi warna hijau) dalam durasi lebih lama karena rendahnya hambatan aliran (*flow resistance*). Karakteristik aliran pada *gap* 1,2 mm ini secara visual mengonfirmasi alasan pencapaian torsi maksimal sebesar 0,0529 Nm dan daya 5,5458 Watt, di mana momentum fluida dikonversi menjadi kerja mekanik secara lebih efisien tanpa terbuang oleh gesekan viskos ekstrem seperti pada celah yang lebih sempit.



Gambar 7. Grafik Hubungan Kecepatan Terhadap Posisi Aliran

Fenomena ini dijelaskan melalui kontur kecepatan yang memperlihatkan bahwa fluida tidak bergerak secara radial lurus menuju pusat, melainkan berputar melingkar berkali-kali mengikuti rotasi piringan akibat pengaruh gaya viskositas. Jarak 760 mm tersebut merepresentasikan total panjang jalur spiral (*spiral path length*) yang ditempuh partikel air dari sisi masuk hingga mencapai lubang pengeluaran (*outlet*). Gradasi warna pada kontur menunjukkan bahwa pada variasi *gap* 1,2 mm, fluida mampu mempertahankan momentum kecepatan yang lebih tinggi dalam durasi lintasan yang lebih panjang dibandingkan celah yang lebih sempit. Hal ini membuktikan bahwa efektivitas transfer energi kinetik menjadi kerja mekanik pada turbin Tesla sangat bergantung pada kemampuan fluida untuk mempertahankan profil kecepatan spiralnya tanpa terhambat oleh gesekan dinding yang berlebihan sepanjang jalur aliran tersebut.

Meskipun grafik kecepatan pada variasi *gap* 1,2 mm menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan variasi lainnya, hal ini mencerminkan distribusi energi yang lebih efektif. Rendahnya kecepatan pada celah yang lebih lebar merupakan konsekuensi dari luas penampang aliran yang meningkat sesuai hukum kontinuitas, yang secara bersamaan meminimalkan kerugian gesek viskositas (*viscous losses*). Kondisi ini memungkinkan fluida mempertahankan momentumnya lebih lama sepanjang lintasan spiral 760 mm, sehingga menghasilkan konversi energi mekanik (torsi dan daya) yang jauh lebih tinggi dibandingkan celah sempit yang mengalami lonjakan kecepatan namun disertai hambatan gesek yang besar

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi numerik 3D yang telah dilakukan pada turbin Tesla dengan fluida kerja air, dapat disimpulkan bahwa parameter geometris berupa jarak antar piringan (*gap*) dan kecepatan rotasi memiliki pengaruh signifikan terhadap performa mekanik yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan rotasi dari 300 RPM hingga 1000 RPM secara konsisten meningkatkan daya output pada seluruh variasi celah. Konfigurasi celah 1,2 mm terbukti sebagai parameter desain paling optimal, di mana pada kecepatan 1000 RPM mampu menghasilkan torsi maksimal sebesar 0,052985545 Nm dan daya sebesar 5,5458204 Watt. Temuan ini mengonfirmasi bahwa penggunaan celah yang lebih lebar (1,2 mm) lebih efektif dalam meminimalisir hambatan aliran (*flow resistance*) serta mencegah fenomena penyumbatan lapisan batas (*boundary layer blockage*) yang sering terjadi pada celah sempit seperti 0,4 mm. Dengan demikian, kombinasi *gap* 1,2 mm dan kecepatan operasional tinggi direkomendasikan sebagai acuan dalam perancangan manufaktur turbin Tesla skala mikro untuk aplikasi sistem pembangkit listrik *picohydro* yang lebih efisien di masa depan.

5. Daftar Pustaka

- [1] Setiawan, I., Nugroho, A., 2021, "Pemanfaatan Potensi Mikrohidro di Pedesaan Indonesia untuk Energi Terbarukan Berkelanjutan," *Jurnal Energi dan Mesin*, 7(2): 45–52.
- [2] Paish, O., 2002, "Small Hydro Power: Technology and Current Status," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6(6): 537–556.
- [3] ESDM, 2024, "Statistik Ketenagalistrikan Indonesia 2024," Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- [4] Pritchard, P.J., Mitchell, J.W., 2016, "Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics," John Wiley & Sons.
- [5] Cengel, Y., Cimbala, J., 2013, "Fluid Mechanics Fundamentals and Applications (SI Units)," McGraw-Hill.
- [6] Włodarski, W., 2025, "Innovative Tesla Turbine Devices: Concept, Testing and Insights," *Energy*, 337: 138731.

-
- [7] Qi, H., et al., 2019, "Influence of Disc Tip Geometry on the Aerodynamic Performance and Flow Characteristics of Multichannel Tesla Turbines," *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33(6): 2875–2886.
 - [8] Joseph, J.K., Jeyanthinathan, R., Harish, R., 2021, "CFD Investigation on the Performance Analysis of Tesla Turbine," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 850(1): 012026.
 - [9] Rice, W., 1991, "Tesla Turbines," *Encyclopedia of Fluid Mechanics*, 10: Gulf Publishing Company.
 - [10] Rusin, K., Wróblewski, W., Stozik, M., 2021, "Analysis of Flow Characteristics in a Tesla Turbine," *Journal of Physics: Conference Series*, 2130(1): 012022.