

Contents list available at [Sinta](https://sinta)

ARMATUR

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>

Analisis variasi pipa penstock terhadap kecepatan inlet turbin pada PLTMH Boonpring menggunakan CFD

Andinusa Rahmandhika^{1*}, Ali Mokhtar², Bagus Adi Putra³, Sentot Achmadi⁴¹Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang, Jl. Raya Tlogomas no. 246, Malang, Jawa Timur, Indonesia²Program Studi Teknik Informatika, Institut Teknologi Nasional Malang, Jl. Raya Karanglo km. 2 Malang, Jawa Timur, Indonesia

ARTICLE INFO

Keywords:

PLTMH
penstock
velocity
vortex

ABSTRACT

The development of renewable energy is a necessity in order to reduce the consumption of fossil energy. One of the alternative technologies to obtain sustainable energy resources is to use a Micro Hydro Power Plant (PLTMH). In order to obtain high-efficiency power, it is necessary to analyze the maximum head and discharge values. In this study, an analysis of variations in the design of the penstock pipe from the forebay was carried out to obtain the highest velocity value for rotating the water turbine. The method used in this research is a simulation using ANSYS Fluent software. Based on the results obtained, the highest velocity values were obtained for penstock number 2 and 4. Pipe elevation causes the flow velocity to increase smoothly. The branching at the inlet does not affect the velocity value but increases the possibility of a vortex which is detrimental to the flow leading to the turbine.

Pendahuluan

Kebutuhan energi berbanding lurus dengan meningkatnya perkembangan kebutuhan manusia. Salah satunya ialah energi listrik. Listrik sendiri merupakan salah satu barang yang sangat penting dan ketersediaannya harus dapat mencukupi seluruh kegiatan masyarakat [1], [2]. Saat ini energi listrik sebagian besar memanfaatkan bahan bakar fosil, dimana ketersediaan akan

hal tersebut dapat berkurang. Solusi untuk hal tersebut ialah memanfaatkan energi baru dan terbarukan, seperti energi surya, panas bumi, angin dan air [3]–[5].

Pemanfaatan air sebagai energi alternatif sudah dilakukan guna mencukupi kebutuhan energi listrik, salah satunya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) [6]. Istilah mikrohidro biasanya dipakai untuk pembangkit listrik skala kecil

*Corresponding author: andinusa@umm.ac.id

DOI: <https://10.24127/armatur.v5i1.4760>

Received 30 September 2023; Received in revised form 20 March 2024; Accepted 20 March 2024

Available online 22 March 2024

yang menghasilkan output antara 5kW sampai dengan 1 MW per unit [7]. Pembangkit tenaga listrik ini dibangun dengan memanfaatkan aliran sungai, aliran irigasi maupun air terjun. Dalam skema penggunaannya, PLTMH mengandalkan debit air dan ketinggian jatuh (head), memanfaatkan aliran air pada ketinggian tertentu dan bergerak menuju instalasi pembangkit, kemudian menggerakkan turbin untuk mengubah energi mekanik tersebut menjadi energi listrik [8]. Tenaga mikrohidro merupakan tenaga berkelanjutan, tidak seperti tenaga matahari yang mana terbenam di malam hari ataupun tenaga angin yang bertiup di waktu tertentu. Selain itu, mikrohidro tidak mencemarkan lingkungan. Adapun kedepannya pemanfaatan mikrohidro ini terbilang baik dan menjanjikan mengingat potensi adanya aliran air yang menjadi sumber daya untuk listrik relatif melimpah pada wilayah-wilayah terpencil yang belum memperoleh supply listrik dari PT PLN.

Salah satu PLTMH yang sudah beroperasi dan dirasakan manfaatnya ialah PLTMH Boonpring. Pembangkit ini berada di Desa Sanankerto, Kecamatan Turen, Kabupaten Malang, Jawa Timur. PLTMH ini dibangun sejak 2019 dan beroperasi pada Maret 2020, PLTMH Boonpring sendiri berjenis turbin Propeller dengan poros vertikal dimana mengandalkan debit 0,5 m³/s, dengan ketinggian jatuh air (head) 3,5 m, dialirkan melalui pipa berukuran 400mm, dapat menghasilkan daya sebesar 13 kilowatt dan dimanfaatkan untuk menerangi kawasan ekowisata Boonpring. Pada saat sistem PLTMH bekerja, pergerakan aliran air dapat dianalisa agar dapat menyelesaikan suatu masalah aliran fluida, seperti mencari kecepatan aliran air, debit air, kerugian – kerugian (losses), pressure drop. Solusi untuk mendapatkan hasil tersebut dengan melakukan uji eksperimental, namun hal tersebut membutuhkan pekerjaan dan biaya yang lebih banyak, Adapun solusi lainnya dengan pendekatan menggunakan program-program komputer. Hasil data yang diolah oleh program tersebut dapat kita lakukan

analisa, sehingga efisiensi dari turbin itu dapat dimaksimalkan, program yang sering digunakan saat ini ialah CFD [9].

Secara definisi, CFD (Computational Fluid Dynamics) merupakan ilmu yang mempelajari bagaimana menggambarkan suatu aliran fluida, perpindahan panasnya, bagaimana reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika. Pada umumnya CFD memiliki tiga proses dalam simulasi, yaitu: preprocessing, solving dan terakhir post processing. Preprocessing merupakan langkah awal dalam simulasi CFD, dimana membuat sebuah model dalam bentuk CAD (Computer Aided Design), selanjutnya menentukan material beserta sifat-sifatnya dari model tersebut, memberikan mesh yang sesuai, dan menentukan batas kondisi yang terjadi pada model tersebut saat beroperasi dengan sekitar. Kedua, tahapan solving, merupakan tahapan iterasi pada kondisi yang sudah diberikan sebelumnya guna mencari solusi. Ketiga, postprocessing, adalah langkah terakhir dalam analisis CFD, pada langkah ini dilakukan interpretasi data hasil dari simulasi CFD dalam bentuk gambar, bentuk kurva, maupun animasi. Pada kasus ini, memodelkan desain suatu penstock secara 3D menggunakan komputer, kemudian disimulasikan terhadap kondisi yang bekerja pada suatu penstock, sehingga dapat diperoleh solusi seperti kecepatan aliran, tekanan yang bekerja karena memperhatikan bagaimana aliran fluida berinteraksi terhadap komponen-komponen turbin dan pengaruhnya [10], [11].

Metode Penelitian

A. Studi Kasus PLTMH Boonpring

Cara yang dilakukan untuk mendapatkan data ialah melakukan penelitian langsung terhadap objek pada lapangan guna memperoleh data yang dibutuhkan (*Field Research*), studi literatur, serta interview guna pengumpulan data dengan melakukan wawancara terhadap

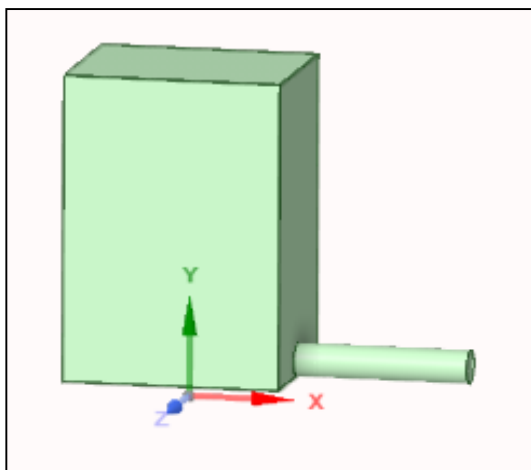
pengurus PLTMH Boonpring. Setelah melakukan pengumpulan data didapat data sesuai Tabel 1.

Tabel 1. Setup berdasarkan data lapangan

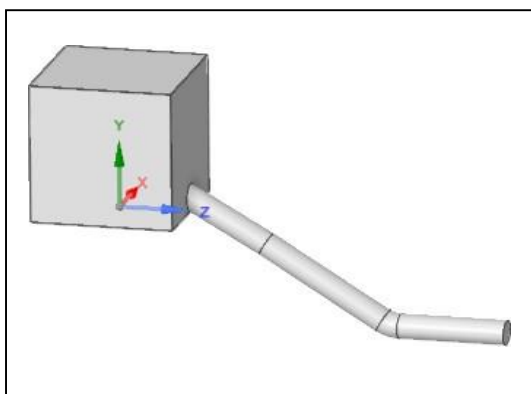
Panjang	2000 mm
Lebar	2500 mm
Tinggi Head	3500 mm
Material Penstock	Steel
Material Penampang	Beton
Panjang Penstock	2000 m
Debit	500 kg/s

B. Penggambaran Reservoir dan penstock

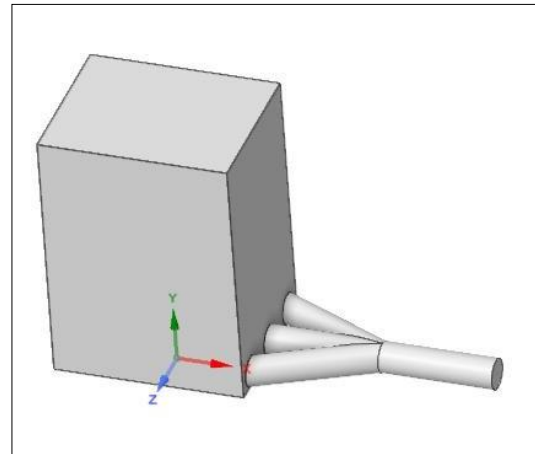
Forebay dan penstock digambar ulang setelah data primer telah diperoleh, untuk penggambaran menggunakan *spaceclaim* sesuai dengan dimensi yang diperoleh berdasarkan Gambar 1 sampai Gambar 4.



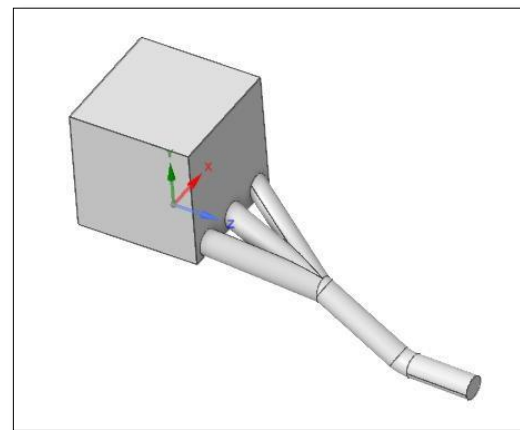
Gambar 1. Reservoir dan Penstock 1



Gambar 2. Reservoir dan Penstock 2



Gambar 3. Reservoir dan Penstock 3



Gambar 4. Reservoir dan Penstock 4

C. Tahapan – tahapan simulasi

Tahapan simulasi menggunakan Autodesk CFD dengan design yang sudah dibentuk menggunakan Autodesk inventor. Simulasi menggunakan model turbulensi k-epsilon.

1. Preprocessing

Sebelum memulai simulasi, terlebih dahulu membuat Model sesuai dengan data yang diperoleh menggunakan Autodesk Inventor kemudian import model ke Ansys Fluent, menentukan sifat fluida, proses meshing dan menentukan kondisi batas. Adapun sub-tahapan untuk preprocessing meliputi:

a. Import geometry & meshing.

Tabel 2. Jumlah Nodes dan Element

Model	Nodes	Element
1	313580	297148
2	337669	325300
3	109067	498754
4	63620	331972

b. Menentukan model turbulensi dengan k-epsilon.

c. Menentukan material fluida sebagai water (H₂O)

d. Menentukan boundary condition.

- Inlet_Massflowrate = 500 kg/s
- Outlet_Pressure = 0 Pa

2. Solving

Pada tahap ini proses perhitungan secara komputasi dimulai berdasarkan persamaan – persamaan yang terlibat. Perhitungan dilakukan hingga mencapai nilai error terkecil dan mencapai nilai konvergen.

3. Postprocessing / Hasil

Tahap akhir merupakan hasil yang dapat divisualisasikan dalam grafik, gambar, kontur dan pola warna tertentu. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa unjuk kerja dari penstock PLTMH Boonpring. Metode penelitian menggunakan metode komputasional, dengan pendekatan secara computational fluids dynamics (CFD) menggunakan bantuan software Ansys fluent 19.2. Parameter yang terjadi pada fenomena aliran fluida suatu model diantaranya debit aliran, head, aliran pada pipa, dan kecepatan aliran. Untuk tahapan penelitian dimulai dari melakukan pengumpulan data sebuah aliran dan rancangan reservoir.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi, terdapat beberapa parameter yang ditentukan terlebih dahulu sebelum proses running, yaitu sebagai berikut:

- Jenis fluida : H₂O (air)
- Densitas : 998 kg/m³
- Viskositas : 0,001003 Pa.s

Gravitasi : -9,81 m/s² searah sumbu y

Nilai kecepatan aliran : 3,9772 m/s

Bilangan Re : 1583266 (turbulent)

Model viscous : K-Epsilon

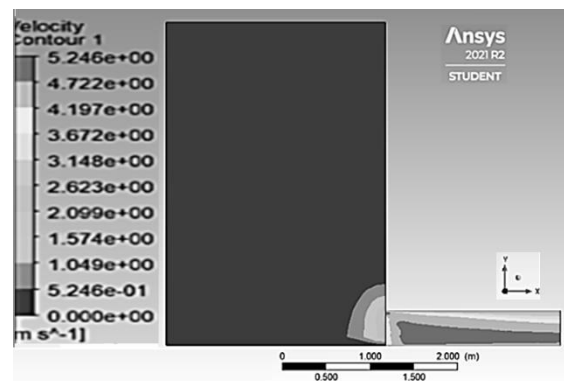
Intensitas turbulen : 2,68 %

Tabel 3. Boundary Condition

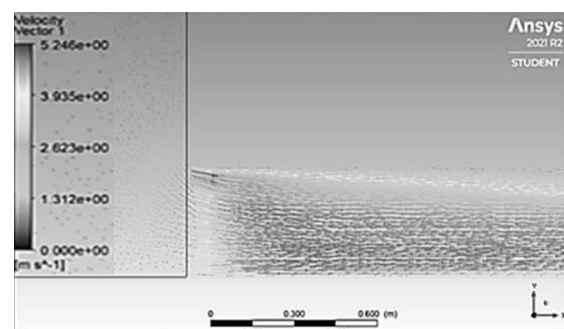
Boundary	Jenis	Nilai
Inlet	Mass Flowrate	500 kg/s
Outlet	Pressure	100 kPa
Intensitas turbulensi	Inlet-Outlet	2,68 %

Tabel 4. Hasil Simulasi

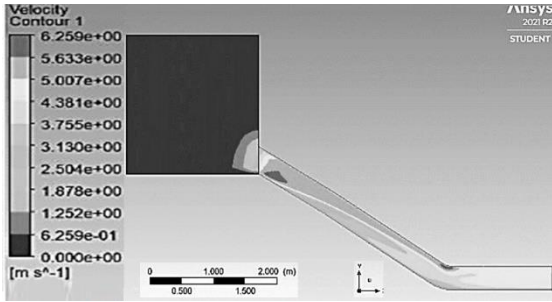
Kecepatan akhir outlet	Nilai
Penstock 1	4,00125 m/s
Penstock 2	4,61001 m/s
Penstock 3	4,0001 m/s
Penstock 4	4,6032 m/s



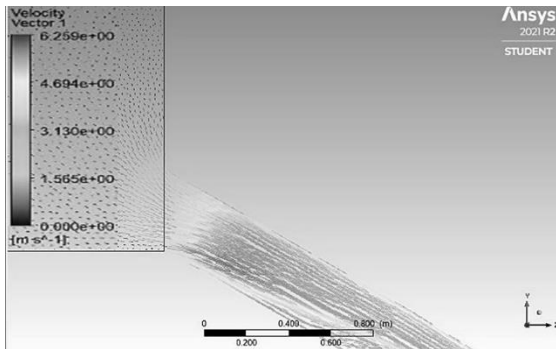
Gambar 5. Kontur kecepatan pada Penstock 1



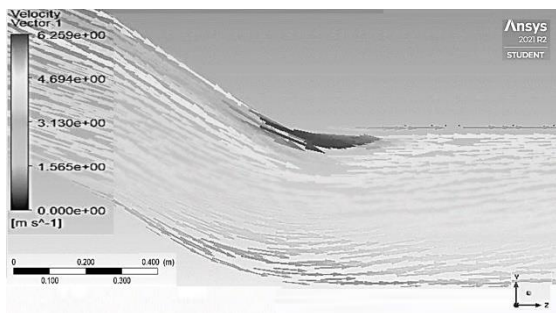
Gambar 6. Vektor kecepatan pada Penstock 1



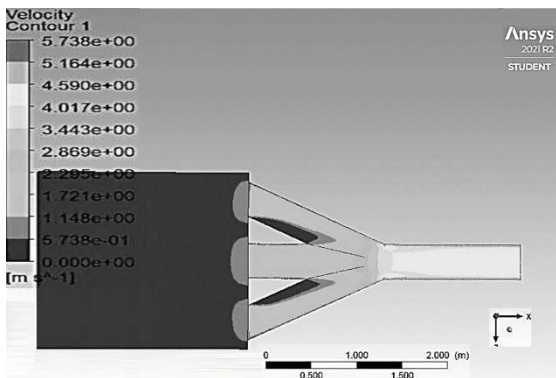
Gambar 7. Kontur kecepatan pada Penstock 2



Gambar 8. Vektor kecepatan pada Penstock 2



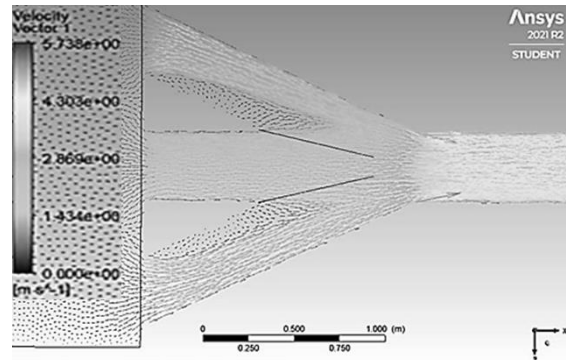
Gambar 9. Vektor kecepatan pada elbow 450 Penstock 2



Gambar 10. Kontur kecepatan bidang xy pada Penstock 3

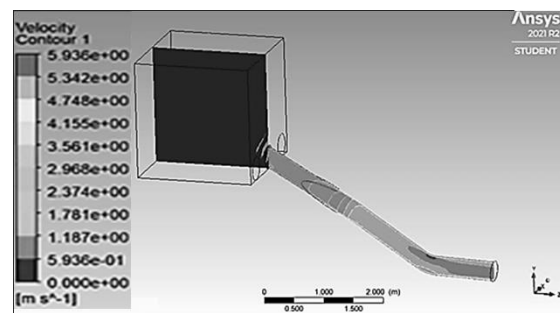
Inlet pada simulasi bernilai 500 kg/s, semua penstock diasumsikan dengan ketinggian yang sama 3,5 m. Pada percobaan yang dilakukan nilai kecepatan rata-rata pada sisi outlet penstock 1 sebesar 4.0001 m/s nilai ini lebih besar

dibandingkan dengan nilai perhitungan manual kecepatan aliran sebesar 3.9772 m/s.



Gambar 11. Vektor kecepatan pada Penstock 3

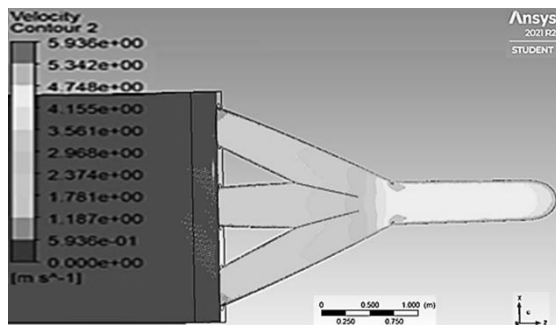
Pada bagian elbow 30, terdapat aliran beragam, meliputi aliran kecepatan intensitas tinggi, sedang, dan rendah. Hal seperti ini menyebabkan adanya rugi aliran dikarenakan belokan pada pipa. Adapun pola aliran kecepatan intensitas rendah pada bagian inlet penstock, hal ini disebabkan adanya kemiringan pada penstock setelah aliran air keluar dari reservoir. Nilai kecepatan dari penstock 2 sebesar 4,61001 m/s. Untuk kecepatan aliran pada penstock 3 sebesar 4,0001 m/s, kontur kecepatan dapat dilihat pada Gambar 7. Sementara itu, tepat pada inlet penstock 3 yang terlihat pada Gambar 10, terindikasi adanya kecepatan intensitas rendah yang berada pada dua cabang inlet penstock. Dari Gambar 12 terdapat vektor aliran tidak searah, ini menciptakan aliran vortex.



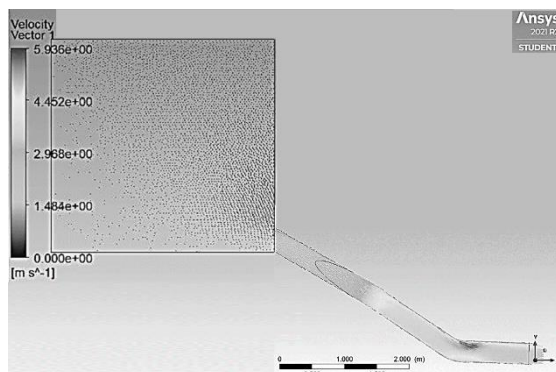
Gambar 12. Kontur kecepatan bidang yz pada Penstock 4

Kontur kecepatan penstock 4 dapat dilihat pada Gambar 12. Walaupun dengan kemiringan yang sama, penstock 4 menghasilkan aliran cukup seragam tepat pada inlet, namun konturnya menunjukkan

intensitas sedang, berbeda dengan penstock 2. Nilai kecepatan penstock 4 sebesar 4.6032 m/s kecepatan ini menyerupai nilai penstock 2.



Gambar 13. Kontur kecepatan bidang xz pada Penstock 4



Gambar 14. Kontur kecepatan bidang xz pada Penstock 4

Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi variasi desain pipa penstock PLTMH, beberapa kesimpulan dapat diambil. Hasil simulasi ANSYS pada penstock 1 menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan perhitungan kecepatan aliran, sehingga didapatkan bahwa permasalahan PLTMH Boonpring tidak terletak pada kecepatan aliran dari penstock tersebut. Dengan ketinggian dan debit yang sama, penggunaan penstock miring dapat meningkatkan kecepatan aliran fluida. Selain itu, potensi timbulnya aliran vortex pada penstock terjadi bila penstock mengalami penurunan elevasi, tidak pada pipa datar. Dengan adanya model

percabangan, kecepatan fluida air yang incompressible tidak dapat ditingkatkan, karena fungsi penstock bifurcation dan trifurcation adalah untuk mendistribusikan fluida tanpa mempengaruhi kecepatannya. Namun, dengan ketinggian yang sama, bidang miring penstock dapat meningkatkan kecepatan asalkan debit alirannya tetap konstan.

Ucapan terimakasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada DPPM Universitas Muhammadiyah Malang yang telah mendanai penelitian ini, sehingga dapat berjalan dengan lancar.

Referensi

- [1] B. Li and N. Haneklaus, 2021. The role of renewable energy, fossil fuel consumption, urbanization and economic growth on CO₂ emissions in China. *Journal of Energy Reports*, vol. 7, pp. 783–791, doi: 10.1016/j.egy.2021.09.194.
- [2] B. Li and N. Haneklaus, 2022. The role of clean energy, fossil fuel consumption and trade openness for carbon neutrality in China. *Journal of Energy Reports*, vol. 8, pp. 1090–1098, doi: 10.1016/j.egy.2022.02.092.
- [3] A. Alkhalidi, K. Alqarra, M. A. Abdelkareem, and A. G. Olabi, 2022. Renewable energy curtailment practices in Jordan and proposed solutions. *Int. J. Thermofluids*, vol. 16, no. June, p. 100196, doi: 10.1016/j.ijft.2022.100196.
- [4] B. K. Sovacool, 2021. Clean, low-carbon but corrupt? Examining corruption risks and solutions for the renewable energy sector in Mexico, Malaysia, Kenya and South Africa. *Journal of Energy Strateg. Rev.*, vol. 38, no. July, p. 100723, doi: 10.1016/j.esr.2021.100723.

- [5] T. T. Pedersen, M. Victoria, M. G. Rasmussen, and G. B. Andresen, 2021. Modeling all alternative solutions for highly renewable energy systems. *Journal of Energy*, vol. 234, p. 121294, doi: 10.1016/j.energy.2021.121294.
- [6] Erinofardi et al., 2017. A Review on Micro Hydropower in Indonesia. *Journal of Energy Procedia*, vol. 110, no. December 2016, pp. 316–321, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.146.
- [7] Z. Saleh, Yosi Apriani, Feby Ardianto, and Ricky Purwanto, 2019. ANALISIS KARAKTERISTIK TURBIN CROSSFLOW KAPASITAS 5 kW. *Jurnal Surya Energy*, vol. 3, no. 2, pp. 255–261, [Online]. Available: <https://doi.org/10.32502/jse.v3i2.1484>
- [8] P. Kumar, A. Kumar, and S. Jaiswal, 2023. A critical review of technologies for harnessing the power from flowing water using a hydrokinetic turbine to fulfill the energy need. *Journal of Energy Reports*, vol. 9, pp. 2102–2118, doi: 10.1016/j.egy.2023.01.033.
- [9] C. A. Aguirre, R. G. Ramirez Camacho, W. de Oliveira, and F. Avellan, 2019. Numerical analysis for detecting head losses in trifurcations of high head in hydropower plants. *Journal of Renew. Energy*, vol. 131, pp. 197–207, doi: 10.1016/j.renene.2018.07.021.
- [10] M. K. Domfeh, S. Gyamfi, M. Amo-Boateng, R. Andoh, E. A. Ofosu, and G. Tabor, 2020. Free surface vortices at hydropower intakes: – A state-of-the-art review. *Journal of Sci. African*, vol. 8, p. e00355, doi: 10.1016/j.sciaf.2020.e00355.
- [11] C. Abeykoon, 2022. Modelling and optimization of a Kaplan turbine — A comprehensive theoretical and CFD study. *Journal of Clean. Energy Syst.*, vol. 3, no. July, p. 100017, doi: 10.1016/j.cles.2022.100017.
- [12] K. V. Alexander and E. P. Giddens, 2008. Optimum penstocks for low head microhydro schemes. *Journal of Renew. Energy*, vol. 33, no. 3, pp. 507–519, doi: 10.1016/j.renene.2007.01.009.
- [13] B. Suyesh, V. Parag, D. Keshav, A. M. Ahmed, and O. Abdul-Ghani, 2018. Novel trends in modelling techniques of Pelton Turbine bucket for increased renewable energy production. *Journal of Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 112, no. August 2018, pp. 87–101, doi: 10.1016/j.rser.2019.05.045.
- [14] A. Mirzaei, M. H. Shojaeefard, A. Babaei, and Y. Yassi, 2015. Experimental study of redesigned draft tube of an Agnew microhydro turbine. *Journal of Energy Convers. Manag.*, vol. 105, pp. 488–497, doi: 10.1016/j.enconman.2015.08.007.
- [15] B. P. Epps, B. T. Roesler, R. B. Medvitz, Y. Choo, and J. McEntee, 2019. A viscous vortex lattice method for analysis of cross-flow propellers and turbines. *Journal of Renew. Energy*, vol. 143, pp. 1035–1052, doi: 10.1016/j.renene.2019.05.053.
- [16] D. H. Wood, V. L. Okulov, and J. R. P. Vaz, 2021. Calculation of the induced velocities in lifting line analyses of propellers and turbines. *Journal of Ocean Eng.*, vol. 235, no. May, p. 109337, doi: 10.1016/j.oceaneng.2021.109337.