

Kaji numerikal pengaruh inlet laju aliran massa terhadap kinerja pompa sentrifugal sebagai pembangkit listrik pico-hydropower

Asral^a, Ridwan Abdurrahman^b

^{a,b}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru

asral@lecturer.unri.ac.id

ABSTRAK

Dalam rangka mendapatkan pembangkit listrik yang sesuai dan dapat diaplikasikan didaerah terpencil telah dikembangkan sebuah pembangkit berbasis pompa sebagai turbin. Turbin dirancang untuk memperoleh kesesuaian ukuran dan kapasitas yang tersedia di kawasan relevan. Data yang bisa dipakai untuk pengembangan masih terbatas. Telah dilakukan pengujian secara eksperimental namun profil aliran dalam turbin mengalami kekurangan data. Kajian secara numerik dilakukan untuk memenuhi kekurangan data dengan mengembangkan model k- ϵ , RNG sehingga diperoleh hasil. Turbin memiliki ukuran sisi masuk 75 mm x 39 mm, dengan sebuah impeler yang memiliki sudu 10 buah. lebar sudu pada sisi masuk adalah 19 mm dan keluar 30 mm dengan tipe *backward curve blade*. Model dibuat untuk dilakukan penghitungan dan penentuan komponen penting aliran seperti kecepatan dan tekanan secara komputasional. Proses awal yang dilakukan adalah membuat model dan *meshing* kemudian proses perhitungan dilakukan dengan metode komputasional dinamika fluida dan proses akhir dengan menampilkan hasil. Pada keseluruhan perhitungan laju aliran divariasikan mulai dari 12 kg/s hingga 19 kg/s. Perubahan laju aliran masa dapat mempengaruhi perbedaan tekanan fluida dalam turbin masing-masing adalah 8,6 MPa, 16,1 MPa, 20,7 MPa dan 25,9 MPa. Ditemukan muncul beberapa vorteks pada area antar sudu. Perlu pengurangan gap antara impeler dengan dinding *volute*. Dengan hasil yang dicapai diprediksi bahwa efisiensi turbin bisa mencapai 86 %.

Keywords: Pompa sebagai turbin; listrik; numerik; k- ϵ model

Diterima 30 September 2023; **Dipresentasikan** 5 Oktober 2023; **Publikasi** 27 Mei 2024

PENDAHULUAN

Pemanfaatan sumber energi terbarukan dan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat terhadap energi listrik telah banyak dilakukan penelitian sebelumnya. Head yang rendah merupakan ciri khas sumber daya air di Riau namun bisa menjadi solusi bagi penyelesaian permasalahan energi listrik di kawasan yang berhampiran atau daerah terisolir, seperti di daerah pedalaman. Dengan potensi sumber daya air nya, berupa sungai dan air terjun bisa dipastikan beberapa tahun kedepan dengan persiapan yang baik melalui penelitian maka masalah energi listrik pada daerah terisolir bisa teratasi. Penelitian pemanfaatan sumber daya air di Riau untuk menghasilkan energi listrik telah dilakukan oleh Asral, dkk mulai tahun (2016) hingga (2023). Dengan pengaturan pemanfaatan sumber air yang baik, sebagian untuk pembangkit dan sebagian lain untuk kebutuhan masyarakat dan pertanian, maka tujuan pengembangan sebuah pembangkit bisa terwujud. Dari lokasi di peroleh informasi/data bahwa debit aliran nya sekitar 0,6 m³/s sedangkan beda ketinggian bisa mencapai 20 m. sebelum membangun suatu pembangkit

diperlukan pengelolaan atau pengaturan pemanfaatan sumber air yang dibuat sebagai dasar penentuan kapasitasnya [1], [2]. Apabila sumber energi air pada Kawasan yang dimaksud termasuk memiliki head rendah, maka kapasitas pembangkit yang bisa dibangun adalah berskala kecil [3]. Kesesuaian jenis mesin pembangkit dalam pemilihan dan perancangan juga mesti diperhatikan [4], [5]. Teknologi yang tepat dan pemilihan jenis mesin pembangkit yang sesuai sangat diperlukan sehingga terwujud suatu sistem yang bisa bermanfaat secara maksimal. Berbagai kajian mengenai pemanfaatan sumber energi air dari perbedaan ketinggian telah menjadi topik penelitian yang dilakukan oleh beberapa peneliti. Peningkatan produksi energi oleh suatu pembangkit daya air telah menjadi pertimbangan sehingga diaplikasikan suatu sistem pembangkit daya air siklus gabungan (CCHS) [6]. Kajian mengenai pengaruh perubahan kondisi sudu turbin terhadap prestasi mesin telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Seperti yang memanfaatkan energi momentum air dari suatu ketinggian, dimana pengaruh sudut kemiringan sudu (blade) dan lokasi tumbukan air sangat berpengaruh terhadap efisiensi turbin sebagai pembangkit [7].

Selanjutnya untuk menjawab permasalahan pemanfaatan energi air adalah dengan membangun sebuah pembangkit skala mikrohidro atau pikohidro. Namun persoalan biaya adalah hal yang sangat krusial khususnya pada Kawasan terpencil. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Tarang Agarwal, 2012 [9] bahwa pompa yang digunakan sebagai turbin nampaknya cocok untuk mengatasi masalah tersebut. Berdasarkan penelitian sebelumnya, kemungkinan pengembangan pompa dari jenis pompa sentrifugal sebagai turbin adalah nampaknya sesuai, namun masih perlu banyak data untuk pertimbangan dan penelitian lanjut dalam hal kapasitas aliran masuk impeler karena kemungkinan bisa mempengaruhi produksi jumlah daya listrik.

METODE PENELITIAN

Kaji numerikal yang disajikan di sini dilakukan dengan komersial Computational Fluid Dynamics (CFD) FLUENT. Prosedur CFD meliputi teknik pendekatan grid-generation, kondisi batas, scheme-solver, dan pemilihan model turbulensi.

Fluent digunakan sebagai alat untuk perhitungan secara numerik dalam mensimulasikan aliran. Langkah pertama dalam simulasi adalah pre-processing, yang melibatkan pembuatan model turbin di Ansys. Kemudian mesh berbasis volume terbatas diterapkan dan semua kondisi batas serta parameter aliran yang diperlukan diterapkan. Model numerik kemudian siap untuk dihitung dan memberikan hasil yang diinginkan. Langkah terakhir dalam analisis adalah post-processing, yang melibatkan pengorganisasian dan interpretasi data.

Aliran turbulen merupakan salah satu aliran yang paling sulit dipelajari dalam mekanika fluida. Turbulensi terjadi dalam pusaran berukuran milimeter, sedangkan seluruh domain aliran dapat meluas hingga beberapa meter atau kilometer. Secara umum aliran pada turbin bersifat turbulensi. Dalam kajian ini Analisa aliran menggunakan persamaan Reynolds Average Navier- Stokes Equation (RANS). Persamaan momentum pada RANS adalah,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial \rho}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\overline{\rho u_i' u_j'}) \quad (2)$$

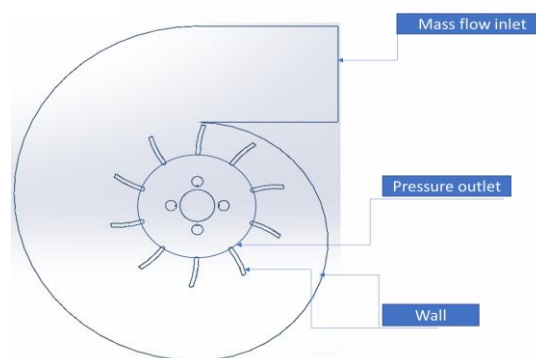
Sedangkan model turbulen yang dipilih adalah $k-\varepsilon$, RNG. Untuk turbulen model $k-\varepsilon$ RNG, persamaan yang digunakan untuk energi kinetik turbulen, k adalah

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (3)$$

Sedangkan tingkat disipasi, ε

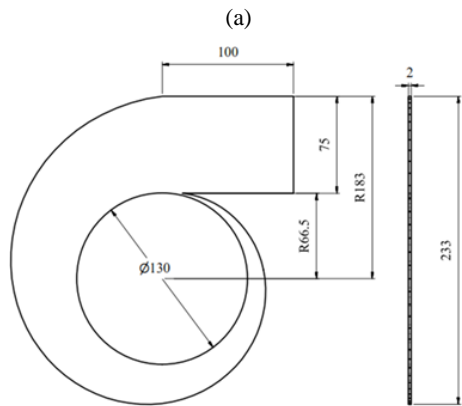
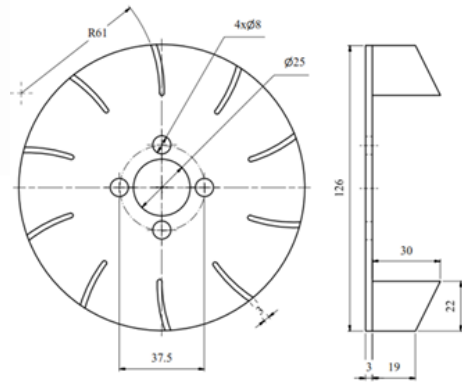
$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \quad (4)$$

Kondisi batas, dalam Gambar 1 adalah mengasumsikan untuk kondisi aliran inkompresibel. Air memasuki turbin tegak lurus arah poros dengan *mass flow inlet*, keluar dengan *pressure outlet*. Sudu-sudu impeller dan *volute* adalah *wall*.



Gambar 1. Boundary condition

Hasil perancangan pompa yang akan difungsikan sebagai turbin, seperti terlihat pada Gambar 2.



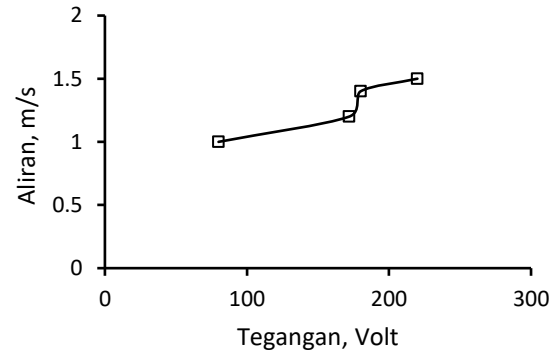
Gambar 2. Hasil perancangan pompa sebagai turbin, (a) Impeler (b). *Volute*.

Sedangkan rancangan pengujian untuk pembangkit listrik dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian turbin pembangkit listrik

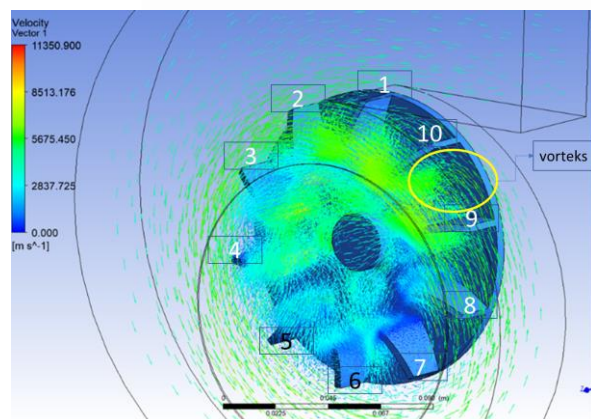
Dari hasil pengujian didapatkan hubungan antara laju aliran dengan voltase listrik keluaran, dimana menunjukkan hubungan mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan laju aliran. Hubungan aliran dan voltase seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, menjadi dasar untuk diadakan kajian aliran secara numerik, untuk mendapatkan data distribusi kecepatan dan tekanan dalam turbin akibat pengaruh laju aliran yang bervariasi.



Gambar 4. Hubungan laju aliran dengan tegangan listrik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

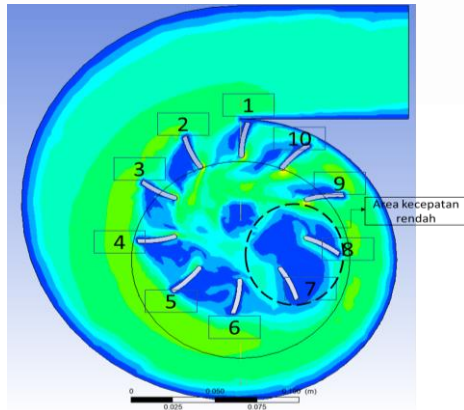
Pemakaian rancangan pompa untuk turbin sebagai pembangkit listrik terbukti dapat dilakukan. Profil aliran menunjukkan bahwa pergerakan fluida dalam *volute* dipengaruhi oleh kondisi dan posisi tiap sudu terhadap sisi masuk aliran. Gambar 5 (a) memperlihatkan vektor kecepatan pada saat aliran terbuka penuh memasuki turbin. Dari sisi masuk fluida terus bergerak lebih dalam menuju celah yang terkecil. Nampak jelas bahwa aliran memasuki sudu mulai dari sudu no 8 dari arah sisi penampang sudu kecil yang merupakan kebalikan dari arah aliran pada pompa. Kemudian mulai pada sudu no 9 aliran mulai memasuki ruang antar sudu dengan terlebih dahulu membentuk vortex hingga kecepatan mengalami penurunan dan fluida keluar pada sisi sudu berpenampang besar. Kondisi serupa berlanjut hingga ke sudu yang berada dikawasan gap terkecil masing-masing mengalami penurunan kecepatan. Hingga ke sudu nomor 7 menunjukkan kecepatan terendah tercapai saat itu.



Gambar. 5 (a) Vektor kecepatan aliran dalam volute turbin.

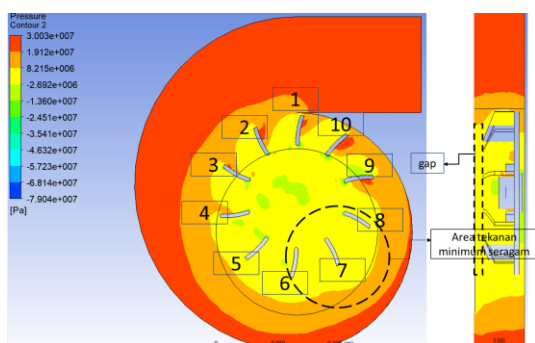
Area terbesar kecepatan rendah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 (b) berada antara sudu no 7 dan no 8 dimana berpeluang terciptanya perubahan tekanan secara signifikan. Dari gambar diprediksi bahwa laju aliran tertinggi menuju sisi

keluar turbin ketika sudu-sudu berada pada setengah bagian lingkaran atas.



Gambar 5 (b). Profil kecepatan aliran dalam volute turbin

Keadaan profil aliran memberikan pengaruh pada tekanan yang terjadi disekitar sudu-sudu, Gambar 5 (c). Berdasarkan penjelasan sebelumnya pada arah berlawanan jarum jam tekanan tampak menurun seragam hingga posisi setengah putaran. Diperlukan seperempat putaran lainnya dimana tekanan kembali meningkat. Hal ini mengindikasikan bahwa gaya tekanan tertinggi mulai terjadi pada sudu nomor 9. Diperkirakan kondisi beban tertinggi yang ditanggung oleh sudu adalah pada saat kondisi seperti ini. Area tekanan minimum lainnya diperlihatkan pada gap antara impeler dengan dinding volute. Perbedaan tekanan maksimum dan minimum yang terjadi diprediksi sekitar 26 MPa. Mengindikasikan penyerapan energi hidrodinamik sebesar 86%. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan maka memberikan peluang untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi sumber daya air yaitu dengan cara mengurangi gap.

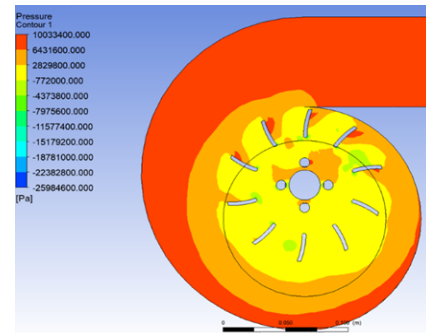


Gambar 5 (c). Profil tekanan dalam volute turbin.

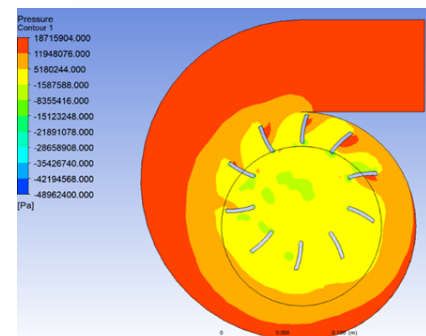
Perubahan laju aliran masa memberikan pengaruh terhadap pembentukan tekanan disep-utar area impeller. Laju aliran masa meningkat maka tekanan meningkat. Hasil ini mengindikasikan bahwa untuk mencapai gaya dorong tekanan air yang tinggi diperlukan sejumlah

masukannya disesuaikan dengan kebutuhan daya sebagai penggerak dalam system pembangkit listrik. Pada Gambar 6 berturut-turut ditampilkan profil tekanan yang terjadi dengan laju aliran $0,012 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,015 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,017 \text{ m}^3/\text{s}$ dan $0,019 \text{ m}^3/\text{s}$.

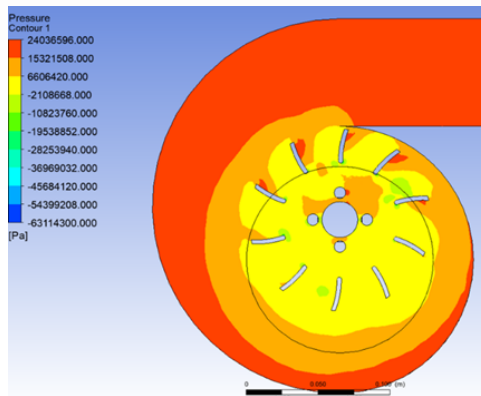
Berdasarkan Gambar 6 (a)-(d) berturut-turut perbedaan tekanan yang dicapai mulai dari sisi masuk dan keluar adalah sekitar 8,6 MPa dan efisiensi penyerapan diperkirakan setara dengan 85,9%. Apabila laju aliran ditingkatkan menjadi $0,015 \text{ m}^3/\text{s}$ dicapai perbedaan tekanan mendekati 16,1 MPa atau efisiensi penyerapan sekitar 86,1%. Begitu juga bila laju aliran diubah ke yang lebih tinggi diperoleh perbedaan tekanan sebesar 20,7 MPa dan efisiensi diperkirakan sekitar 86,2%. Pada kondisi laju aliran yang lebih perbedaan tekanan diprediksi meningkat tiga kali lebih tinggi ketika kenaikan laju aliran berbeda $0,007 \text{ m}^3/\text{s}$. perbedaan tekanan yang dicapai saat itu adalah sekitar 25,9 Mpa sehingga efisiensi penyerapan energi diperkirakan mencapai 86,3%. Secara keseluruhan dari pengujian ini diperoleh efisiensi rata-rata mencapai 86,1 %.



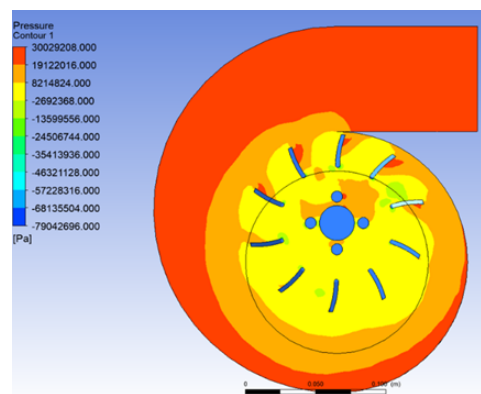
(a) Laju aliran masa 12 kg/s



(b) Laju aliran masa 15 kg/s



(c) laju aliran masa 17 kg/s



(d) laju aliran masa 19 kg/s

Gambar 6. Profil tekanan fluida didalam turbin dengan laju aliran masa bervariasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian secara numerik ini dapat diperoleh kesimpulan:

1. Aliran dalam turbin terbagi menjadi 2 bagian, area minimum kecepatan pada setengah impeler bawah, area maksimum kecepatan pada setengah impeler bagian atas.
2. Pada area maksimum kecepatan ditemukan aliran vorteks berlokasi pada ruang diantara sudu.
3. Kenaikan laju aliran dapat meningkatkan perbedaan tekanan yang terjadi pada turbin.
4. Dengan variasi laju aliran yang dilakukan efisiensi penyerapan energi rata-rata mencapai 86,1%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan beribu terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Riau (LPPM-UNRI) atas dukungan dana dan pengelolaan hingga terlaksananya kegiatan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tarjuelo, José M., Rodriguez-Diaz, Juan A., Abadía, Ricardo, Camacho, Emilio, Rocamora, Carmen, and Moreno, Miguel A., "Efficient Water and Energy Use in Irrigation Modernization: Lessons from Spanish Case Studies", *Agriculture Water Management, Int. Journal*, 162, 67-77, 2015.
- [2] Wu, Yiping, and Chen, Ji, "Estimating irrigation water demand using an improved method and optimizing reservoir operation for water supply and hydropower generation: A case study of the Xinfengjiang reservoir in southern China", *Agriculture Water Management, Int. Journal*, 116, 110-121, 2013.
- [3] Li, Yanrong, Nishi, Yasuyuki, Inagaki, Terumi dan Hatano, Kentarou., "Study on the Flow Field of an Undershot Cross-flow Water Turbine". *Applied Mechanics and Materials Vol. 620*, pp 285-291, 2014.
- [4] Williamson, S.J, Stark, B.H, dan Booker, J.D., "Low Head Pico Hydro Turbine Selection Using a Multi-Criteria Analysis". *Renewable Energy, International Journal*, 61, 43-50, 2014.
- [5] Viollet, and Pierre-Louis., "From the water wheel to turbines and hydroelectricity Technological evolution and revolutions", *Comptes Rendus Mecanique*, 345, 570-580, 2017.
- [6] Liu, Yue, and Packey, Daniel J., "Combined-Cycle Hydropower Systems - The Potential of Applying Hydrokinetic Turbines in The Tailwaters of Existing Conventional Hydropower Stations ", *Renewable Energy*, 66, 228-231, 2014.
- [7] Gaiser, Kyle, Erickson, Paul, Stroeve, Pieter, and Delplanque, Jean-Pierre, "An experimental investigation of design parameters for pico-hydro Turgo turbines using a response surface methodology," *Renewable Energy*, 85, 406-418, 2016.
- [8] Loots, I., Van Dijk, M., Barta, B., Van Vuuren, S.J., and Bhagwan, J.N., "A review of low head hydropower technologies and applications ", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1254-1268, 2015.
- [9] Agarwal, Tarang, "Review of Pump as Turbine (PAT) for Micro- Hydropower". *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Volume 2,

Issue 11,163-169. 2012

- [10] Asral, Akbar, Musthafa, dan Syafri, " The Performance of Undershot Water Turbine Combined With Spiral Tube Pump On Empowerment of Energy Resources Local Contiguous Small River," Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace Science and Engineering, Vol 42,I, 19-23, 2017.
- [11] Asral, Abdurrahman, Ridwan, dan Deswita, Lely., " Experimental Study on the Effects of Turbine Blades Types on the Performance of Centrifugal Pump as Pico-Hydropower Generation," Journal of Advanced Research In Fluid Mechanics and Sciences, Vol. 106 No. 1, 2023, <https://doi.org/10.37934/arfmts.106.1.158164>.