

PENGARUH JUMLAH SUDU TERHADAP PERFORMA HIDRO-TURBIN SAVONIUS SEBAGAI ALTERNATIF DESAIN PENGOLAHAN EBT

INFLUENCE OF THE NUMBER OF BLADES ON THE PERFORMANCE OF SAVONIUS HYDRO-TURBINE AS AN ALTERNATIVE DESIGN TO RENEWABLE ENERGY PROSESING

Dandun Mahesa Prabowoputra*¹, Reza Azizul Nasa Al Hakim¹,

Akhlis Rahman Sari Nurhidayat¹

*Email: dandun.mahesa@unsoed.ac.id

¹Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto

Abstrak— Kebutuhan energi listrik di Indonesia mengalami peningkatan sebesar 3% setiap tahunnya, sehingga berpengaruh pada ketersediaan sumber energi dari bahan bakar fosil. Lebih dari ±83% sumber energi listrik nasional dipasok dari sumber bahan bakar fosil. Penggunaan Energi Baru Terbarukan (EBT) pada pasokan listrik nasional pada kisaran 17%. Potensi hidro-energi di Indonesia tercatat sebesar 94,3 GW pada tahun 2019. Hal tersebut menunjukkan energi hidro memiliki peluang yang besar dalam pengembangannya. Salah satu pengembangannya adalah melakukan pengembangan desain rotor pada turbin air jenis savonius. Savonius memiliki keunggulan memiliki stuktur yang sederhana dan dapat beroperasi pada kecepatan fluida yang rendah. Namun tipe savonius memiliki kelemahan memiliki efisiensi yang relatif rendah sehingga perlu dikembangkan lagi untuk meningkatkan performanya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu terhadap performa hidro-turbin dan jumlah sudu maksimal untuk mendapatkan performa terbaik dari hidro-turbin. Penelitian ini menggunakan metode Computational Fluid Dynamics dan menggunakan analisa desain faktorial. Perangkat lunak yang digunakan adalah Ansys Student version dengan CFX Solver. Penelitian dilakukan pada jumlah sudu 3, 4 dan 5. Hasil menunjukkan bahwa savonius dengan 4 sudu menghasilkan C_{pmax} terbaik sebesar 16%. Hasil analisa desain faktorial menunjukkan bahwa faktor TSR (Tip Speed Ratio) dan jumlah sudu memiliki pengaruh yang signifikan dan terdapat interaksi antara kedua faktor tersebut.

Kata kunci — savonius, *Computational Fluid Dynamics*, C_{pmax}, hidro-turbin.

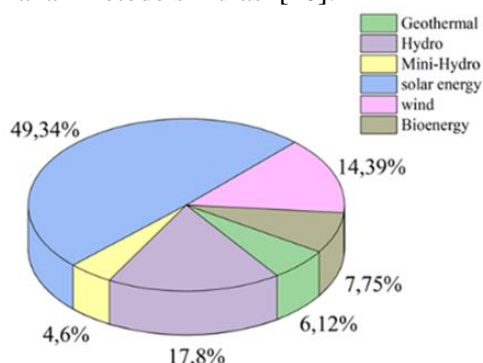
Abstract—The need for electrical energy in Indonesia has increased by 3% every year, thus affecting the availability of energy sources from fossil fuels. More than ±83% of national electrical energy sources are supplied from fossil fuel sources. New and Renewable Energy (EBT) use in the national electricity supply is 17%. The potential for hydro-energy in Indonesia was recorded at 94.3 GW in 2019. This shows that hydro-energy has a great opportunity in its development. One of the developments is to develop a rotor design for a Savonius-type water turbine. Savonius has the advantage of having a simple structure and can operate at low fluid velocities. However, the savonius type has the disadvantage of relatively low efficiency, so it needs further development to improve its performance. This study aims to determine the effect of the number of blades on the performance of the hydro-turbine and the maximum number of blades to get the best performance. This study uses the Computational Fluid Dynamics method and uses factorial design analysis. The software used is the Ansys Student version with CFX Solver. The study was conducted on the number of blades 3, 4, and 5. The results showed that savonius with 4 blades produced the best C_{pmax} of 16%. The results of the factorial design analysis show that the TSR (Tip Speed Ratio) factor and the number of blades have a significant influence, and there is an interaction between the two factors.

Keywords — Savonius, *Computational Fluid Dynamics*, C_{pmax}, Hydro-turbine

I. PENDAHULUAN

Tahun 2018 kapasitas pembangkit tenaga listrik mencapai 64,5 GW atau meningkat 3% dibandingkan tahun sebelumnya. Komposisi sumber pasokan pembangkit listrik nasional dipasok oleh energi baru terbarukan sebesar 14%. Ketersediaan sumber energi dari bahan fosil semakin menurun karena sebagian besar pembangkit listrik yang terpasang berasal dari sumber fosil. Solusi dari permasalahan tersebut adalah pentingnya transformasi energi dari energi tak terbarukan menjadi energi baru terbarukan (EBT). Total potensi energi terbarukan yang digunakan pada pembangkit listrik ekuivalen 442 GW [1]. Renewable Energy memiliki keunggulan tidak akan habis selama siklus alam masih berlangsung, ramah lingkungan dan dapat meminimalisir polusi lingkungan [2]. Indonesia mempunyai potensi EBT yang besar [3].

Indonesia memiliki beberapa sumber EBT, seperti energi angin, geotermal, surya dan air. Potensi air di Indonesia tercatat sebesar 94,3 GW pada tahun 2019 [4]. Gambar 1 menunjukkan komposisi sumber energi terbarukan yang ada di Indonesia saat ini. Energi baru terbarukan sangat dibutuhkan, salah satunya energi hidro yang memiliki peluang besar dalam pengembangannya. Sungai di Indonesia memiliki potensi energi listrik yang cukup besar, rata-rata 10 kW [5]. Salah satu pengembangannya adalah melakukan pengembangan melalui desain turbin. Beberapa turbin mengalami banyak perkembangan dalam upaya peningkatan performa, seperti turbin Cross-flow [6-7], turbin darreius [8], turbin archimedes [9] dan turbin savonius [10]. Penelitian terhadap turbin telah banyak dilakukan dengan menggunakan metode experimental [11] atau menggunakan metode simulasi [10].



Gambar -1. Komposisi EBT di Indonesia [4].

Telah banyak penelitian telah dilakukan pada turbin Savonius yang bertujuan untuk meningkatkan performa pada rotor Savonius. Penelitian yang telah dilakukan adalah memberikan modifikasi pada

bentuk geometri rotor. Beberapa faktor geometri yang dimodifikasi antara lain jumlah sudu [12], overlap rasio [13], Multi-stage [14], Aspek Ratio [15], bentuk sudu [16-18], bahan material [19-20], dan beberapa penambahan elemen lain [21-23]. Mahmoud telah melakukan modifikasi terhadap Jumlah sudu (2, 3, and 4) dengan variasi overlap rasio menghasilkan C_{pmax} terbaik diperoleh pada turbin savonius dua-sudu pada seluruh variasi overlap [13]. Wenehenubun melakukan penelitian terhadap variasi jumlah sudu dan hasil dari penelitian menunjukkan C_{pmax} terbaik diperoleh pada turbin savonius empat-sudu [12]. Penelitian terhadap modifikasi terhadap Overlap Rasio dan Aspek Rasio telah dilakukan dan memperoleh hasil bahwa Overlap rasio pada interval 0.1 sampai 0.5 pada Aspek rasio melebihi 1.8 dapat meningkatkan C_p [15]. Delbari melakukan modifikasi terhadap profile Sudu, pada penelitiannya dilakukan dengan variasi beberapa bentuk profile sudu yang berbeda. Profile sudu itu adalah semi-elliptic, dan Bach Benesh [16]. Penelitian lain melakukan modifikasi yaitu menambahkan Sudu tandem, hasil dari modifikasinya menghasilkan C_{pmax} sebesar 0.19 menunjukkan nilai yang lebih tinggi dari Savonius konvensional [18]. Basumatary and Biswas melakukan modifikasi terhadap penggunaan Deflektor, diperoleh maksimal koefisien power (C_p) lebih optimal pada turbin air savonius menggunakan deflector yaitu 0,54 dengan TSR 0.578 [21]. Sharma melakukan modifikasi Layered multiple miniatures blades diperoleh hasil peningkatan C_{pmax} sebesar 11.34% [22]. Kerikous and Thevenin melakukan modifikasi terhadap penggunaan deflektor dan ketebalan deflektor, diperoleh peningkatan rata-rata C_{pmax} sebesar 15% [23].

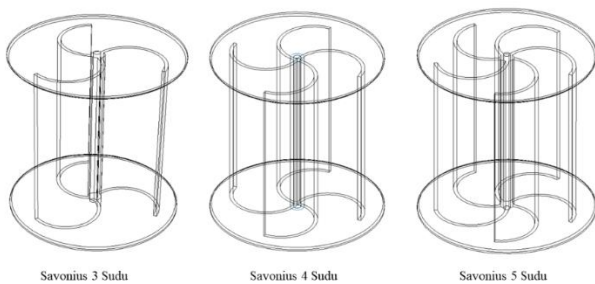
Penelitian ini menggunakan metode Computational Fluid Dynamics (CFD). Tujuan dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh jumlah sudu terhadap performa turbin hidro tipe savonius, serta fenomena distribusi tekanan melalui studi simulasi CFD.

II. METODOLOGI

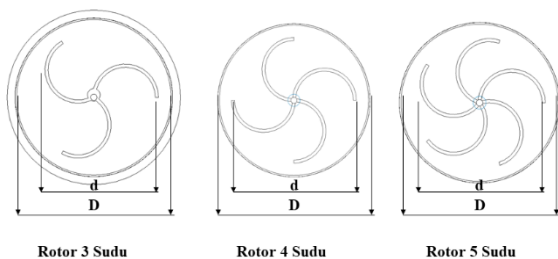
Penelitian dilakukan dengan permodelan untuk menyelesaikan permasalahan pada turbin hidro Savonius. Permodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak *Ansys* dengan *Solver CFX*. Penelitian telah dilakukan dengan tahapan studi literatur, perancangan penelitian, dan simulasi proses. Langkah awal dalam simulasi adalah menentukan kondisi batas dan parameter yang akan digunakan pada penelitian. Kondisi batas dan parameter yang

digunakan telah disesuaikan dengan penelitian serupa. Analisa hasil dilakukan dengan cara mengolah torsi menjadi *coeffience of power*.

Pemodelan simulasi pada penelitian menggunakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Pada tahap ini dilakukan desain geometri rotor Savonius dan desain variasi yang akan dilakukan. Di dalam tahap ini dilakukan pula pembuatan domain dan penentuan kondisi batas yang akan dilakukan. Setelah itu dilakukan *mesh study* [24], dimana tahapan ini termasuk dalam kegiatan pra-penelitian. Proses awal adalah membuat gambar tiga dimensi untuk rotor savonius 3 sudu, 4 sudu dan 5 sudu. Desain variasi rotor Savonius ditunjukkan pada Gambar 2. Dimensi yang digunakan pada rotor ditunjukkan pada tabel 1 dengan keterangan pada Gambar 3.



Gambar-2. Desain Rotor 3 Dimensi



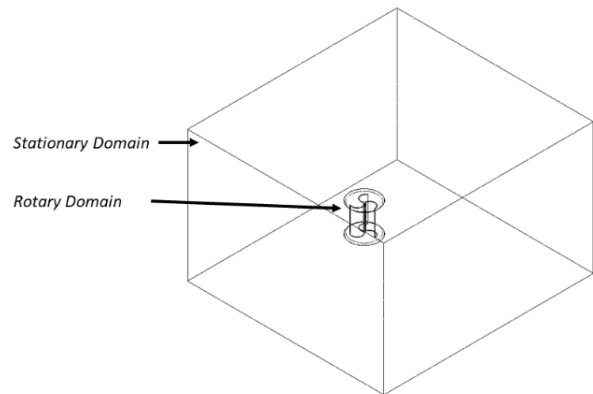
Gambar-3. Proyeksi atas rotor dan keterangan Dimensi

Domain simulasi terdiri dari dua, yaitu *rotary domain* dan *stationary domain* [25]. Bentuk domain ditunjukkan oleh Gambar 4. Rotari domain terdiri dari interface dan rotor, untuk stationary domain terdiri dari *interface*, *inlet*, *wall* dan *outlet*. Simulasi dilakukan menggunakan fluida air. Tipe analisis yang digunakan adalah transient *blade-row*. Penelitian dilakukan pada TSR 0.3-1.1. Detail kondisi batas yang digunakan ditunjukkan pada tabel 2. Skematik Domain Simulasi ditunjukkan oleh gambar 5.

Tabel -1. Dimensi Rotor

Parameter	Jenis Rotor		
	3 sudu	4 sudu	5 sudu
D (mm)	100	100	100

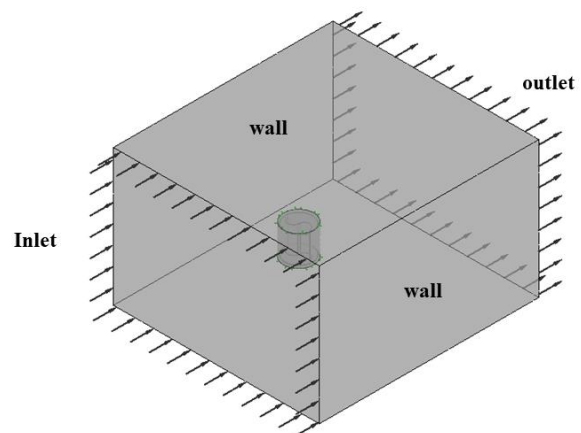
d (mm)	80	80	80
H (mm)	100	100	100
T (mm)	2	2	2



Gambar-4. Bentuk rotary domain dan Stationary Domain

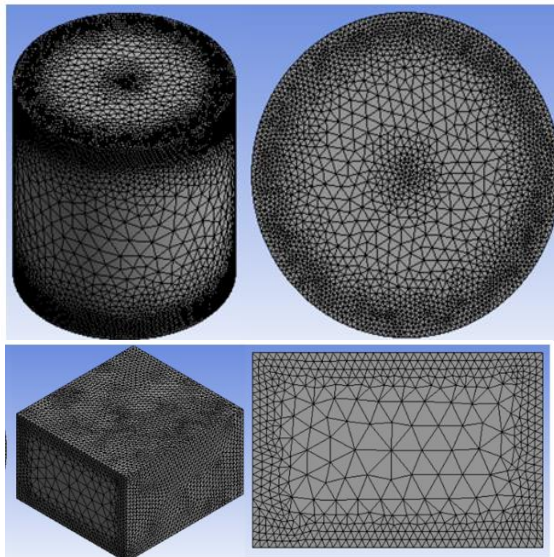
Tabel-2. Parameter Kondisi Batas

No	Parameter	Nilai
1.	Fluid type	Air
2.	Density (kg/m ³)	1,000
3.	Water velocity (m/s)	3
4.	Outlet pressure (atm)	1
5.	Turbulence model	K-Epsilon



Gambar-5. Domain Simulasi dan Kondisi Batas.

Simulasi dilakukan menggunakan mesh dengan metode tetrahedral dan menggunakan inflasi pada dinding rotor [26]. Hasil mesh ditunjukkan pada Gambar 6. Dari gambar menunjukkan metode mesh yang digunakan dan ukuran mesh.



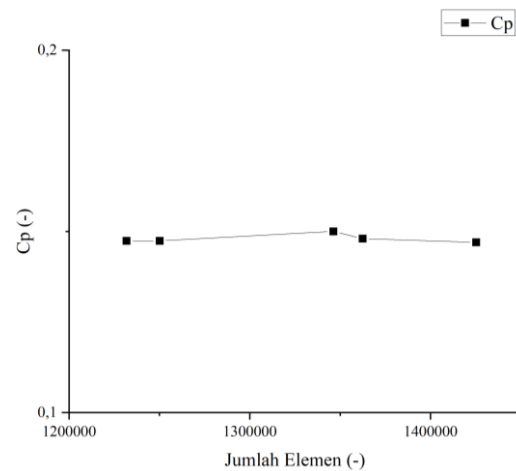
Gambar-6. Hasil proses Meshing.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian mengenai pengaruh jumlah sudu pada performa hidro turbin Savonius yang telah secara simulasi tiga dimensi. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Ansys dengan solver CFX. Hasil luaran dari simulasi ini adalah nilai torsi, kontur tekanan, kontur kecepatan dan vektor kecepatan. Performa turbin air savonius dari masing-masing variasi dibandingkan berdasarkan C_{pmax} .

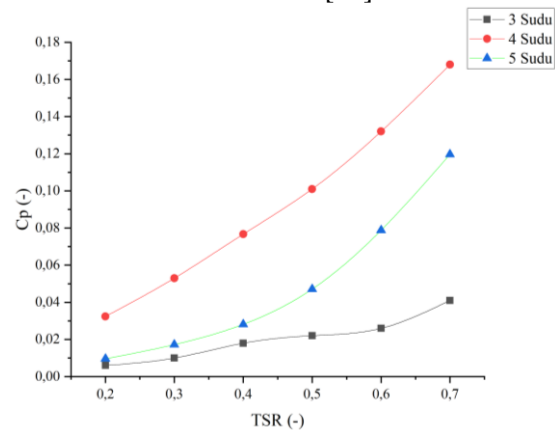
Mesh Independent Study (MIS) perlu dilakukan sebelum simulasi dilakukan. MIS dilakukan untuk memperoleh total elemen yang efektif dalam proses simulasi dan mendapatkan mesh pada posisi konvergen [26]. Studi independensi mesh dilakukan dengan mengubah ukuran sehingga jumlah elemen bertambah [27]. Data dari proses studi mesh ditunjukkan pada Gambar 7. Di mana grafik menunjukkan hubungan antara jumlah elemen dengan nilai torsi. Grafik menunjukkan bahwa mesh yang paling efektif adalah mesh dengan jumlah elemen 1.346.296. Jumlah elemen dalam mesh dipilih karena tidak ada perubahan signifikan dalam nilai torsi ketika jumlah elemen menambah lebih banyak.

C_p dihasilkan oleh Rotor dengan variasi jumlah sudu pada interval TSR 0,2 – 0,7 ditunjukkan pada grafik gambar 8. Pada rotor dengan jumlah sudu tiga C_p terus meningkat pada TSR 0,2 hingga 0,7. C_p yang dihasilkan adalah pada TSR 0.7 adalah 0,041 pada rotor dengan 3 sudu; 0,168 pada rotor dengan 4 sudu dan 0,12 pada rotor dengan sudu 5.



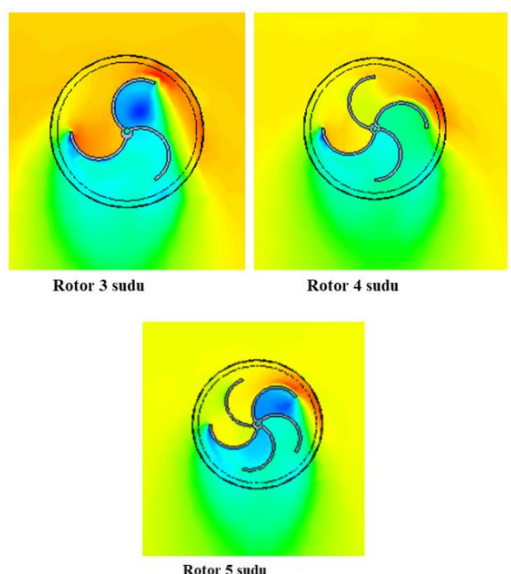
Gambar-7. Hasil Mesh Independence Study

Selain menghasilkan nilai C_p , simulasi ini menghasilkan output dalam bentuk kontur tekanan. Kontur tekanan untuk setiap jenis rotor ditunjukkan pada Gambar 9. Kontur distribusi tekanan menunjukkan bahwa terdapat *wake zone* pada sudu tiga dan sudu 5 yang luas, sedangkan pada sudu 4 tidak terdapat *wake zone*. *Wake zone* pada kontur tekanan berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan. Dimana hal ini adalah salah satu faktor penyebab nilai C_p pada sudu 3 dan sudu 5 lebih kecil dari sudu 4 [24].



Gambar-8. Hasil C_p untuk masing-masing variasi rotor.

Hasil analisa desain faktorial di tunjukan oleh tabel 3. Nilai F_0 pada hasil analisa desain faktorial pada faktor TSR menunjukkan nilai 36,64. Nilai tersebut diatas nilai F pada Tabel 4. Nilai F_0 pada faktor jumlah sudu sebesar 82,02, dimana nilai tersebut lebih besar dari nilai F pada Tabel 4. Hasil analisa tersebut menunjukkan faktor TSR dan jumlah sudu memiliki pengaruh yang signifikan terhadap performa savonius [28]. Nilai F_0 pada interkasi antar kedua faktor menunjukkan bahwa kedua faktor saling berinteraksi.



Gambar-9. Kontur tekanan pada variasi rotor

Tabel-3. Analisa Desain Faktorial

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F ₀
TSR	0,018	5	0,00	36,64
Jumlah Sudu	0,016	2	0,01	82,02
Interaksi	0,003	1	0,0033	33,20
Error	0,001	9	0,0001	
Total	0,04	17		

Tabel-4. Perbandingan F dengan nilai F₀

Degrees of Freedom	F Value	F ₀
F _{0.05 (5,9)}	3.48 [28]	36,64
F _{0.05 (2,9)}	4.26 [28]	82,02
F _{0.05 (1,9)}	5.12 [28]	33,20

IV. KESIMPULAN

Mesh independence study yang telah dilakukan menunjukkan efektifitas mesh terbaik dengan jumlah mesh sebanyak 1.346.296 elemen. Hasil simulasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa jumlah sudu memberikan pengaruh pada performa turbin hidro Savonius. Hasil C_pmax terbaik diperoleh pada turbin air Savonius dengan jumlah sudu 4 dengan nilai 0,168. Analisa desain faktorial yang telah dilakukan menunjukkan bahwa faktor TSR dan jumlah sudu memiliki pengaruh yang signifikan, dan terdapat interaksi antar kedua faktor. Savonius dengan jumlah sudu 4 dapat dijadikan alternatif desain untuk pengolahan energi baru terbarukan yang di implementasikan pada hidro-turbin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dewan Energi Nasional. 2019. *Outlook Energi Indonesia 2019*. ISSN 2527-3000.
- [2] Prabowoputra, D.M., Sartomo, A., Suyitno. *The effect of pressure and temperature on biodiesel production using castor oil*. AIP Conference Proceedings. 2020; 2217, 030051.
- [3] Sartomo, A., Prabowoputra, D.M., Suyitno. *Factorial design of the effect of reaction temperature and reaction time on biodiesel production*. AIP Conference Proceedings. 2020; 2217, 030052.
- [4] BPPT. *Indonesia Energy Outlook 2018*. Jakarta; 2018.
- [5] Triasiwi, W., Masrukhi, Mustofa, A., *Rancang Bangun Turbin Cross-Flow Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Skala Laboratorium*. 2017; 13(1): 29-35.
- [6] As'ad, M.M.I., Febrianto, A.J. dan Prabowoputra, D.M. *Analisa Performa Hidro-Turbin Cross-Flow Dengan Sudut Diameter Runner 10° Dan Jumlah Sudu 8, 16, Dan 24 Menggunakan Metode CFD*. *Journal of Mechanical Engineering*. 2021; 5(1):21-26.
- [7] Prabowoputra, D.M., Purwanto. dan Febrianto, A.J. *Pengaruh Jumlah Sudu 8, 12, 16 Dan 20 Terhadap Performa Hidro-Turbin Cross-Flow Dengan Sudut 15° Menggunakan Metode Computational Fluids Dynamics*. *Journal Of Mechanical Engineering And Mechatronics*, 2021; 6(2): 88-94.
- [8] Garmana, A., Arifin and Rusdianasari, F. *CFD Analysis for Combination Savonius and Darrieus Turbine with Differences in the Number of Savonius Turbine Blades*, International Conference on Artificial Intelligence and Mechatronics Systems (AIMS). 2021; 1-5, doi: 10.1109/AIMS52415.2021.9466009.
- [9] Pratama, A., Nindito, D.A. and Saputra, R.H. *Studi Eksperimental Sistem Pengaruh Aliran Pada Turbin Hidrokinetik Archimedes Spiral*. *Jurnal Teknik*. 2021; 19(1): 1-11.
- [10] Prabowoputra, D.M. *Investigasi Pengaruh Rotor Multi-Stage Terhadap Performa Turbin Air Savonius Menggunakan Metode CFD*. UNS (Sebelas Maret University). 2020.
- [11] Nadhief, M.I., Prabowoputra, D.M., Tjahjana, D.D.P.J. and Hadi, S. *Experimental study on the effect of variation of blade arc angle to the performance of savonius water turbine flow in pipe*. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*. 2020; 9(5).
- [12] Wenehenubun, F., Saputra, A. and Sutanto, H. *An experimental study on the performance of Savonius wind turbines related with the number of blades*. *Energy procedia*. 2015; (68):297-304.
- [13] Mahmoud, N. H. *An experimental study on improvement of Savonius rotor performance*. *Alexandria Engineering Journal*. 2012; 51(1): 19–25. doi: 10.1016/j.aej.2012.07.003.
- [14] Prabowoputra, D.M., Hadi, S., Prabowo, A.R. and Sohn, J.M. *Performance investigation of the savonius*

- horizontal water turbine accounting for stage rotor design. *Wind Energy*. 2020; 970: 1-96.
- [15] Patel, V., Bhat, G., Eldho, T.I. and Prabhu, S.V. Influence of overlap ratio and aspect ratio on the performance of Savonius hydrokinetic turbine. *International Journal Of Energy Research*. 2017; 41(6): 829-844.
- [16] Delbari, S.H., Nejat, A., Ahmadi, M.H., Khaleghi, A. and Goodarzi, M. Numerical modeling of aeroacoustic characteristics of different savonius blade profiles. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*. 2019. doi: 10.1108/HFF-12-2018-0764.
- [17] Prabowoputra, D.M., Hadi, S., Prabowo, A.R. and Sohn, J.M. *Performance assessment of water turbine subjected to geometrical alteration of Savonius rotor*. In Proceedings of the 6th International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced Materials 2020; 6 351-365. Springer, Singapore.
- [18] Thiyagaraj, J., Rahamathullah, I., Bharathiraja, R., Anbuhezhiyan, G. and Ponshanmugakumar, A. *Influence of various augmentation devices on the performance characteristics of modified four bladed fixed flip type savonius hydrokinetic turbine*. Materials Today: Proceedings. 2021.
- [19] Prabowo, A.R. and Prabowoputra, D.M. Investigation on Savonius turbine technology as harvesting instrument of non-fossil energy: Technical development and potential implementation. *Theoretical and Applied Mechanics Letters*. 2020; 10(4): 262-269.
- [20] Prabowoputra, D.M., Prabowo, A.R., Bahatmaka, A. and Hadi, S. Analytical Review of Material Criteria as Supporting Factors in Horizontal Axis Wind Turbines: Effect to Structural Responses. *Procedia Structural Integrity*, 2020; 27: 155-162.
- [21] Basumatary, M. and Biswas, A. Numerical simulation of two-bladed Savonius water turbine with deflector. *International Journal of Renewable Energy Technology*. 2016; 7(4): 383-402.
- [22] Sharma, S. & Sharma, R.K. CFD investigation to quantify the effect of layered multiple miniature blades on the performance of Savonius rotor. *Energy Conversion and Management*, 2017; 144: 275–285.
- [23] Kerikous, E. & Thévenin, D. Performance enhancement of a hydraulic Savonius turbine by optimizing overlap and gap ratios. *ASME 2019 Gas Turbine India Conference, GTINDIA 2019*. doi: 10.1115/GTINDIA2019-2670.
- [24] Prabowoputra, D.M., Hadi, S., Sohn, J.M. and Prabowo, A.R. The effect of multi-stage modification on the performance of Savonius water turbines under the horizontal axis condition. *Open Engineering*. 2020; 10(1): 793-803.
- [25] Purwanto., Budiono., Hermawan., Prabowoputra, D.M. Simulation Study on Cross Flow Turbine Performance with an angle of 20 ° to the variation of the number of blades. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*. 2022; 11(1).
- [26] Prabowo, A.R., Tuswan, T., Prabowoputra, D.M. and Ridwan, R. Deformation of designed steel plates: An optimisation of the side hull structure using the finite element approach. *Open Engineering*. 2021; 11(1): 1034-1047.
- [27] Prabowoputra, D.M., Prabowo, A.R., Hadi, S. and Sohn, J.M. Assessment of turbine stages and blade numbers on modified 3D Savonius hydrokinetic turbine performance using CFD analysis. *Multidiscipline Modeling in Materials and Structures*. 2020.
- [28] Montgomery, Douglas C. *Design and analysis of experiments*. John Wiley & sons. 2017.