

Analisa Kinerja Savonius Hydrokinetic Turbine Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic Pada Studi Kasus Sungai Pemali, Tegal, Jawa Tengah

Dimas Sholahudin Khais^{*)}, Betty Ariani²⁾

Teknik Perkapalan / Universitas Muhammadiyah Surabaya

**) Corresponding author: dimaslhdn00@gmail.com*

Abstract

Renewable energy generated by hydropower systems has a lot of potential in Indonesia. The Savonius turbine is a feasible alternative for the utilization of hydropower sources due to its excellent starting characteristics and ease of fabrication. The purpose of this research is to investigate the performance of a Savonius turbine for hydrodynamic applications in Indonesian river environments. The data could be used to determine whether a Savonius hydrokinetic turbine has the necessary capabilities if deployed to rivers in Indonesia. This study was conducted using the Computational Fluid Dynamic (CFD) method by taking data on the case of the Pemali River, Tegal, Central Java. in three different river flows, namely 0.5 m/s, 0.9 m/s, and 1.3 m/s. The influence of aspect ratio 1.8 and overlap ratio of 0.2 is used as a basis geometry to determine rotor performance of Savonius Hidronkinetic Turbine (SHT). The maximum coefficient of power observed for a flow speed of 0.9 m/s is worth 0.21 and decreases in value when the flow speed is 1.3 m/s. This coefficient of power value has a similar trend in previous studies and shows that the application of SHT can be done to become a new renewable energy source.

Keywords: *Renewable energy, Savonius hydrokinetic turbine, CFD, Coefficient of power, Coefficient of torque*

Abstrak

Energi terbarukan yang dihasilkan oleh sistem *hydropower* memiliki banyak potensi di Indonesia. Turbin Savonius adalah alternatif yang layak untuk pemanfaatan sumber tenaga air karena karakteristik awal yang sangat baik dan kemudahan dalam pembuatannya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki kinerja turbin Savonius dalam aplikasi hidrodinamika di lingkungan sungai Indonesia. Data tersebut dapat digunakan untuk menentukan apakah turbin hidrokinetik Savonius memiliki kemampuan yang diperlukan jika diaplikasikan ke sungai-sungai yang ada di Indonesia. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dengan mengambil data kasus Sungai Pemali, Tegal, Jawa Tengah. dalam tiga aliran sungai yang berbeda, yaitu 0,5 m/s, 0,9 m/s, dan 1,3 m/s. Pengaruh aspek rasio 1,8 dan *overlap ratio* 0,2 digunakan sebagai geometri dasar untuk menentukan kinerja rotor *Savonius Hidrokinetic Turbine* (SHT). Koefisien daya maksimum yang diamati untuk kecepatan aliran 0,9 m/s bernilai 0,21 dan nilainya menurun ketika kecepatan aliran 1,3 m/s. Koefisien nilai daya ini memiliki tren yang sama pada penelitian sebelumnya dan menunjukkan bahwa penerapan SHT dapat dilakukan untuk menjadi sumber energi baru terbarukan.

Kata kunci: *Energi terbarukan, Turbin Hidrokinetik Savonius, CFD, Koefisien Daya, Koefisien Torsi*

PENDAHULUAN

Sejalan dengan pesatnya pertumbuhan jumlah penduduk, peningkatan konsumsi energi juga meningkat secara signifikan. Tingkat konsumsi energi diperkirakan akan tumbuh 1,6 persen per tahun menjadi 36 persen pada tahun 2030. [1] Pola pasokan energi saat ini masih dipegang oleh energi fosil. Negara-negara di seluruh dunia saat ini mendukung pembuatan dan pemanfaatan turunan minyak bumi melalui otorisasi dan perizinan, seperti halnya pemotongan pajak. Dimana energi fosil, batu bara, minyak bumi, dan gas bertanggung jawab atas lebih dari 3/4 pembuangan zat emisi dunia, yang merupakan faktor terbesar dari penyebab kerusakan ozon. [1], [2]

Meningkatnya kebutuhan energi alternatif yang bersih membuat tren positif untuk energi baru terbarukan (EBT). peningkatan rasio pemanfaatan EBT menjadi fokus masyarakat global, termasuk Indonesia. Distribusi sumber listrik di Indonesia pada tahun 2018 masih didominasi oleh sumber energi yang meninggalkan pembakaran. Kapasitas terpasang pembangkit pada tahun 2018 sebagian besar masih berasal dari pembangkit berbahan bakar fosil, antara lain batubara 50%, gas bumi 29%, bahan bakar minyak 7%, dan EBT sebesar 14%. Dengan pola distribusi energi yang berfokus diantaranya adalah pada konsumen rumah tangga dengan nilai 978.000 GWh (42%), sektor industri 769.000 GWh (33%), komersial 595.000 GWh (25%), dan untuk sektor transportasi (pengoperasian KA komuter) sebesar 274 GWh (0,12%). [3]

Industri EBT mempertahankan pertumbuhan yang stabil dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Beberapa sumber energi alternatif tersebut yakni seperti energi angin dan air [4]. Dengan rasio luas air ke-darat 71 persen hingga 29 persen. Jika dibandingkan dengan sumber energi lain, tenaga air merupakan pasokan yang jauh lebih bersih, dapat diprediksi, dan andal untuk wilayah Indonesia secara keseluruhan [5]. Elemen kunci lain yang mendukung EBT *hidropower* adalah emisi CO₂ yang setara dengan 41 g CO₂-eq/KWh selama operasional. Sebanding dengan 90 g CO₂-eq/KWh dan 80 g CO₂-eq/KWh yang dihasilkan oleh solar dan energi angin [6].

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) merupakan salah satu pembangkit listrik berkelanjutan baru yang memiliki potensi tinggi di Indonesia, dimana memiliki akumulasi potensi 94,3 GW dan merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang utama. Disamping kelebihan yang dimiliki, PLTA memiliki kelemahan dalam kapasitas untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Kekurangan ini mengakibatkan pendirian pembangkit listrik hanya menghasilkan kecepatan tahunan sebesar 12% [6].

Secara umum, ada dua metode untuk mengekstraksi tenaga air. Pertama dengan konvensional berskala besar yang bergantung pada pengumpulan energi potensial air dengan membangun bendungan atau waduk penyimpanan air lainnya di seluruh badan sungai untuk menghasilkan perbedaan ketinggian secara hidrolik [5]. Opsi kedua adalah menggunakan teknologi hidrokinetik. Hal ini dapat dilakukan dengan mengubah energi motor dari aliran air menjadi energi mekanik, yang kemudian diubah menjadi listrik melalui saluran transmisi [7].

Turbin hidrokinetik adalah alternatif berbiaya rendah dan memiliki dampak lingkungan yang rendah karena tidak memerlukan penggunaan tanggul. Turbin hidrokinetik unggul dalam penggunaan untuk kota-kota kecil dengan ketinggian air rendah di sepanjang sungai atau aliran sungai daripada pembangkit listrik tenaga air konvensional [6]. Turbin hidrokinetik *axial* dan *cross flow* adalah dua jenis turbin hidrokinetik. model hydrokinetic turbin dibagi menjadi beberapa bagian. Savonius hydrokinetic turbin termasuk dalam jenis turbin *cross flow*. Berbagai studi pionir tentang jenis turbin *cross-flow* untuk meningkatkan efisiensi air telah dilakukan, antara lain Darrius, Archimedes, Kaplan, dan Savonius [8]

SHT memiliki banyak keunggulan, diantaranya adalah struktur yang sederhana, kemudahan modifikasi, dan kemampuan untuk beroperasi pada kecepatan fluida rendah. Penyesuaian dan penambahan komponen dasar, seperti rasio overlap, bentuk sudu, penggunaan

endplate, penambahan stage, jumlah sudu, dan penambahan deflektor, mendominasi banyak penelitian yang dilakukan pada turbin ini. [9]

Berbeda dengan keunggulan utama seperti desain sederhana dan kemampuan untuk beroperasi pada kecepatan rendah, turbin Savonius memiliki efisiensi yang buruk. Untuk mengatasi kelemahan ini, beberapa penelitian telah dilakukan melibatkan optimasi parameter struktural yang berbeda. Studi ini sebagian besar dilakukan untuk aplikasi angin. Oleh karena itu, literatur yang luas tersedia mengenai studi optimasi untuk turbin Savonius dalam aplikasi energi angin. Dengan tujuan memberikan latar belakang penelitian yang lebih luas untuk Savonius turbin dalam hal aplikasi hidrokinetik, studi optimasi dilakukan dengan air sebagai media kerja yang akan ditinjau. [10]

Penelitian yang dilakukan oleh Patel et al., dengan melakukan eksperimen yang komprehensif untuk Turbin Savonius konvensional 2-bilah pada rentang luas AR dari 0,21 hingga 4,44. Dari hasil yang ditunjukkan tercatat bahwa kinerja turbin ditingkatkan dengan peningkatan AR. Namun terjadi stagnasi di C_p . Tercatat maksimum nilai C_p didapat pada nilai AR 1,8. besarnya pengalihan aliran setelah mengenai sudu, relatif lebih tinggi untuk turbin dengan AR yang lebih kecil. Hal ini akhirnya mengarah pada penurunan fraksi fluks massa fluida yang mengenai bilah, yang kehilangan energi. Efeknya menjadi kurang jelas dengan meningkatnya AR dan cukup diabaikan setelah mencapai nilai AR tertentu. Pada kasus ini, AR optimal ditemukan menjadi 1,8, karena tidak ada pengaruh pada kinerja turbin diamati dengan peningkatan AR lebih lanjut. [11]

Patel et al., melakukan penelitian lebih lanjut. menggunakan metode CFD, penelitian serupa dilakukan untuk membandingkan dan menyelidiki pengaruh OR 0-0.2 pada kekuatan keluaran SHT. Studi yang dilakukan menghasilkan nilai C_p 0.4 dengan nilai OR optimal pada 0.2. Kesimpulan yang dapat diambil adalah bahwa penggunaan *overlap ratio* meningkatkan kinerja dan berkontribusi untuk mencapai yang lebih tinggi Nilai C_t dan C_p dibandingkan dengan turbin tanpa overlap. Namun, penggunaan OR yang terlalu tinggi telah dilaporkan menurunkan efisiensi turbin. Nilai OR yang lebih tinggi menghasilkan yang paling sedikit resistensi terhadap aliran masuk dari turbin saat air mengalir dengan mulus melalui celah tanpa menimbulkan gaya seret yang besar pada pisau. Ini menghasilkan penurunan tekanan yang berkurang dari hulu ke hilir turbin, akibatnya mengurangi efektifitasnya.[11]

Keterbatasan terkait dengan efisiensi banyak ditemukan pada rotor Savonius. Namun, berdasarkan optimalisasi bentuk dan kinerja yang dilakukan pada penelitian sebelumnya, tantangan tersebut dapat diatasi. Penelitian ini menganalisis kinerja turbin savonius untuk mengetahui apakah turbin savonius dapat digunakan pada karakteristik kondisi lingkungan sungai di Indonesia dengan mendasarkan pada optimasi bentuk geometri (*Aspect Ratio* 1.5, *Overlap Ratio* 0.2) pada penelitian sebelumnya. tepatnya di sungai Pemali, Tegal, Jawa Tengah, Indonesia. Dengan menganalisis tiga kondisi arus sungai yang berbeda, yakni pada 0,5 m/s, 0,9 m/s, dan 1,3 m/s. Penelitian ini melihat kinerja turbin untuk melihat bagaimana pengaruhnya terhadap kinerja turbin air. Dalam benchmarking, C_p dan C_t dipilih sebagai parameter utama dan perhitungan numerik yang digunakan untuk pengujiannya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mendasarkan pada studi kasus aliran fluida dari sungai Pemali, Tegal, Jawa Tengah. Menurut data yang didapatkan dari Pusdatar Provinsi Jawa Tengah, dapat dilihat pada Tabel 1. rata-rata debit sungai selama satu tahun akan digunakan untuk menentukan kinerja dan efisiensi SHT. Dengan kecepatan arus sungai rata-rata pada tahun 2018 sebesar 1,3 m/s maka diambil tiga variasi kecepatan aliran yakni 0.5 m/s, 0.9 m/s, dan 1.3 m/s. Selanjutnya, penelitian ini akan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* untuk proses simulasi perhitungan numerik. Adapun Tabel 2. yang digunakan untuk menghitung karakteristik kinerja turbin.

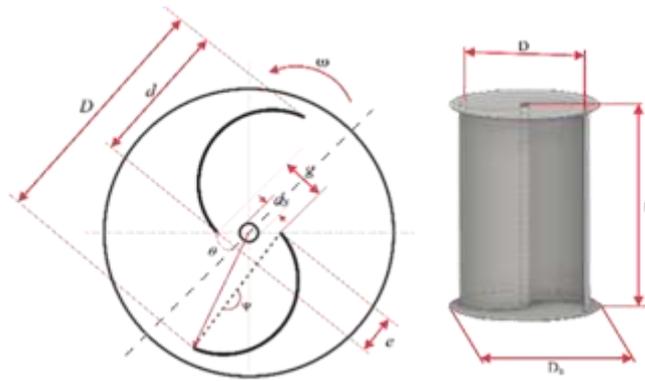
Table 1. Kecepatan aliran rata-rata bulanan sungai Pemali tahun 2018. [12]

Bulan	Debit Air (m^3/s)	Kecepatan aliran rata-rata bulanan sungai Pemali (m/s)
Januari	41.3	1,51
Februari	95.7	3,49
Maret	72.5	2,64
April	81.5	2,97
Mei	34.5	1,26
Juni	13.0	0,47
Juli	4.40	0,16
Agustus	2.70	0,10
September	3.70	0,13
Oktober	20.3	0,74
Nopember	21.2	0,77
December	21.6	0,79

Table 2. Parameter Pengukuran Kinerja Utama Turbin Hidrokinetik. [10]

The Theoretical Power Available (P_{avail}) in Watt (W)	$P_{avail} = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3$	ρ : kepadatan fluida (kg/m^3)
		A: area menyapu penampang bilah turbin (m^2)
		v: kecepatan aliran masuk (m/s)
The mechanical power (P)	$P = T * \omega$	T: torsi yang dibuat oleh turbin (Nm)
		ω : kecepatan sudut untuk turbin (rad/s)
The static torque coefficient (C_{ts})	$C_{ts} = \frac{T_s}{0,5 * \rho * A * v^2 * r}$	T_s : Torsi statis yang dihasilkan oleh SHT (Nm)
		r: jari-jari turbin
		A: area menyapu penampang bilah turbin (m^2)
		v: kecepatan aliran sungai (m/s)
The Dynamic Torque Coefficient (Ct)	$C_t = \frac{T_d}{0,5 * \rho * A * v^2 * r}$	ρ : Kepadatan fluida (kg/m^3)
		T: Torsi statis yang dihasilkan oleh SHT (Nm)
The Coefficient Of Power (Cp)	$C_p = \frac{P}{P_{avail}}$	Harga cp paling ekstrim yang mungkin dicapai adalah 0,59.
Tip-Speed Ratio (TSR)	$TSR = \frac{\omega * r}{v}$	rasio kecepatan tangensialnya dengan kecepatan masuk aliran aliran bebas

Rotor Savonius dengan aliran sumbu vertikal (Y) dan transversal (Z) digunakan dalam penelitian ini. Pengoptimalan bentuk dan ukuran blade, serta penyesuaian kecepatan aliran fluida, merupakan bagian dari proses. Rasio aspek (H/D) 1,5 digunakan dalam penelitian ini, serta rasio tumpang tindih 0,2. Ada berbagai karakteristik geometris, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3, dimana H adalah tinggi rotor, h adalah tinggi tahap rotor, dan T adalah ketebalan. D adalah diameter pelat ujung, d adalah diameter rotor. Adapun parameter deskripsi SHT dapat dilihat pada Gambar 1.



D_e	End plate diameter (m)	d	Blade diameter (m)
D	Diameter of the turbine (m)	Ψ	Blade arc angle ($^\circ$)
R	The radius of the turbine (m)	d_s	Shaft diameter (m)
θ	Turbine rotor angle ($^\circ$)	ω	Angular velocity (rad/s)
e	Overlap distance (m)	AR	Aspect ratio (H/D)
g	Gap distance (m)	OR	Overlap ratio (e/d)
H	Turbine height (m)	GR	Gap ratio (g/d)

Gambar 1. Parameter bentuk turbin savonius [13]

Table 3. Parameter Geometri SHT

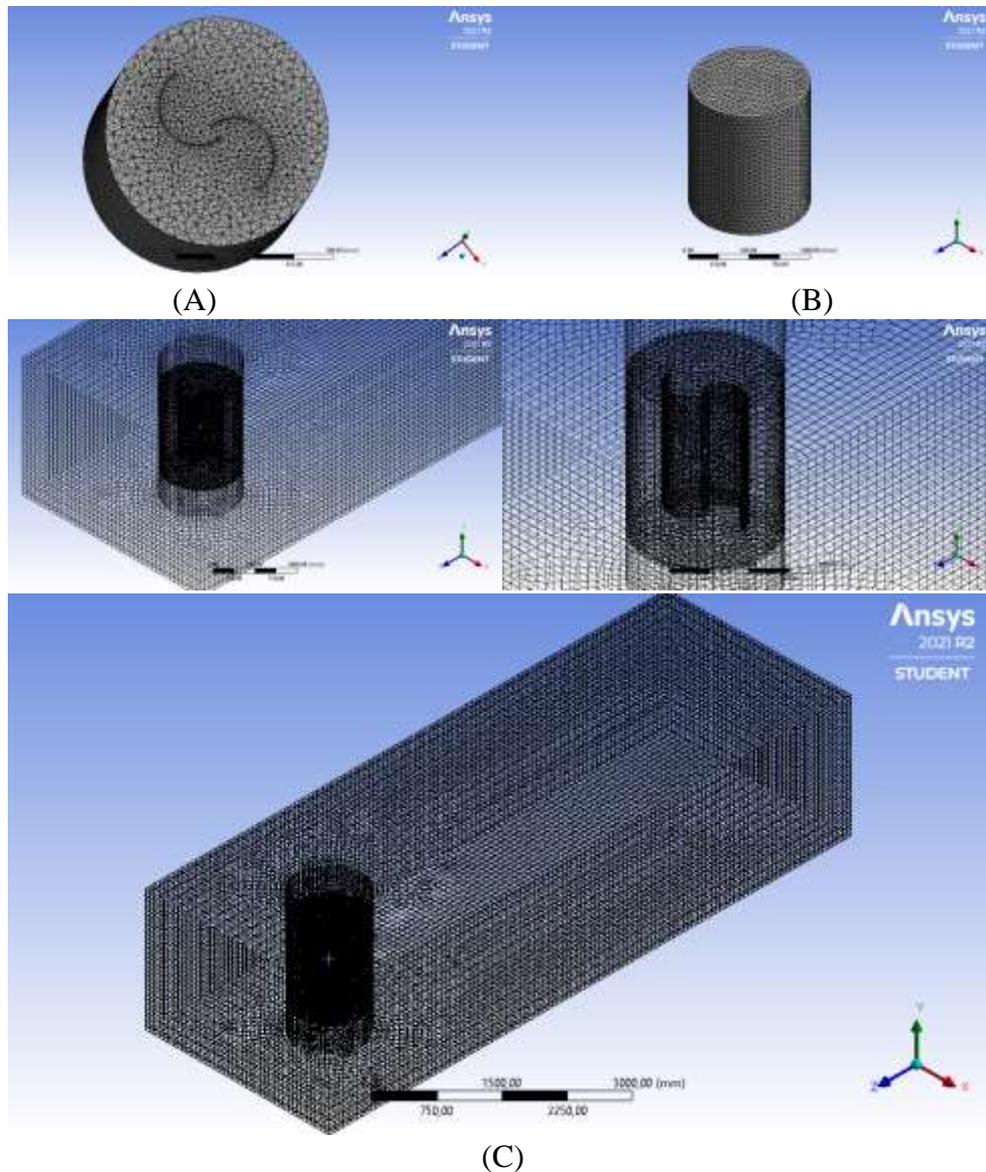
Parameters	Value (cm)
Jumlah Bilah, n	2
Tinggi Turbin, H	63.72
Diameter Turbin, D	42.48
Diameter Bilah, d	23.60
Jarak <i>Overlap</i> , e	4.72
Tebal Bilah, tb	0.30
<i>Aspect ratio</i> , AR = H/D	1.5
<i>Overlap ratio</i> , OR = e/D	0.2

Metode CFD digunakan untuk mensimulasikan idealisasi rotor dan konfigurasi *Boundary* simulasi 3D. Penelitian dibagi menjadi beberapa tahap untuk membuat desain 3D dan menghitung simulasi. Simulasi dimulai dengan pendekatan mesh halus dan tetrahedral, menggembungkan seluruh rotor, dan tahap kedua dimulai dengan menetapkan kondisi batas, menyatukan bentuk rotor, dan memulai simulasi. Simulasi menggunakan lima lapisan maksimum dengan nilai *inflation* sebesar 1,3. Meshing untuk area berputar dan tetap dilakukan secara terpisah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

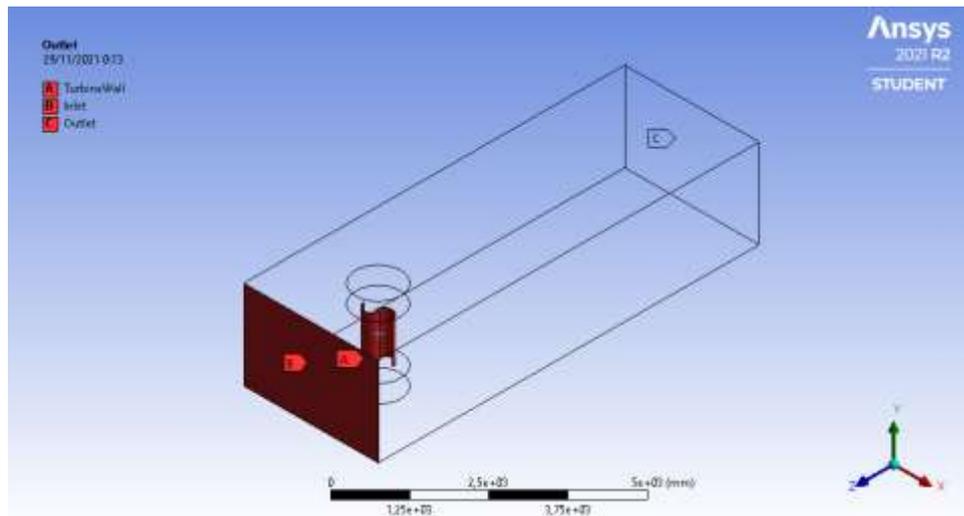
Domain simulasi dibagi menjadi dua bagian, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. stasioner dan berputar. Rotor dinding, antarmuka depan dan belakang, dan domain putar itu sendiri adalah tiga bagian dari domain putar. Pusat relevansi kasar dan media untuk menghaluskan meshing pada domain putar dan stasioner juga ditunjukkan pada Gambar 3. Domain stasioner non-rotasi terdiri dari 3 bagian: saluran masuk, dinding turbin, dan saluran keluar. Domain putar dan

domain stasioner dihubungkan dengan rencana skema keseluruhan melalui dimensi domain stasioner 10x3x1,2 m, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

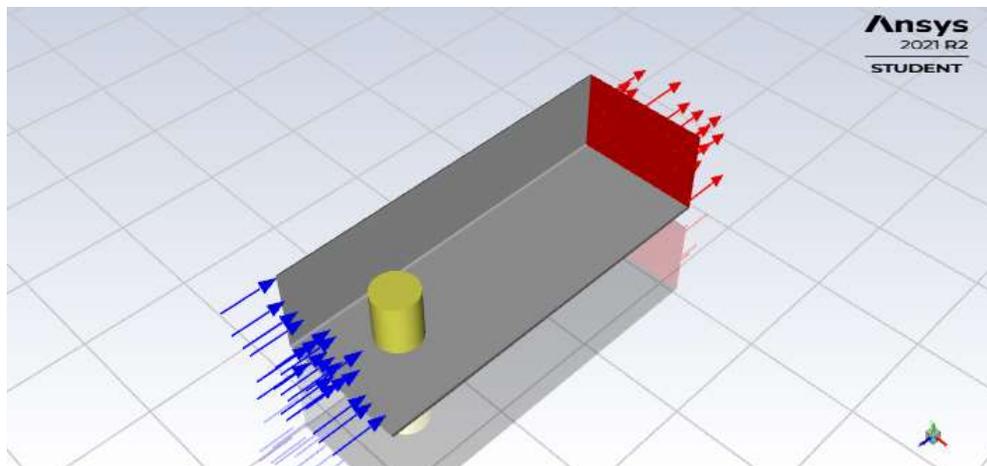
Konfigurasi batas lainnya ditunjukkan pada Tabel 4. termasuk antarmuka pengaturan yang menggabungkan rotor transien dan stator dan menggunakan konsep antarmuka koneksi umum.



Gambar 2. Konfigurasi mesh pada rotor, domain putar, dan domain stasioner (A, B, and C).



Gambar 3. (a) Dinding turbin (b) Aliran masuk, (c) konfigurasi aliran keluar



Gambar 4. Sistem numerik analisis CFD saat ini digambarkan dalam bentuk skematik.

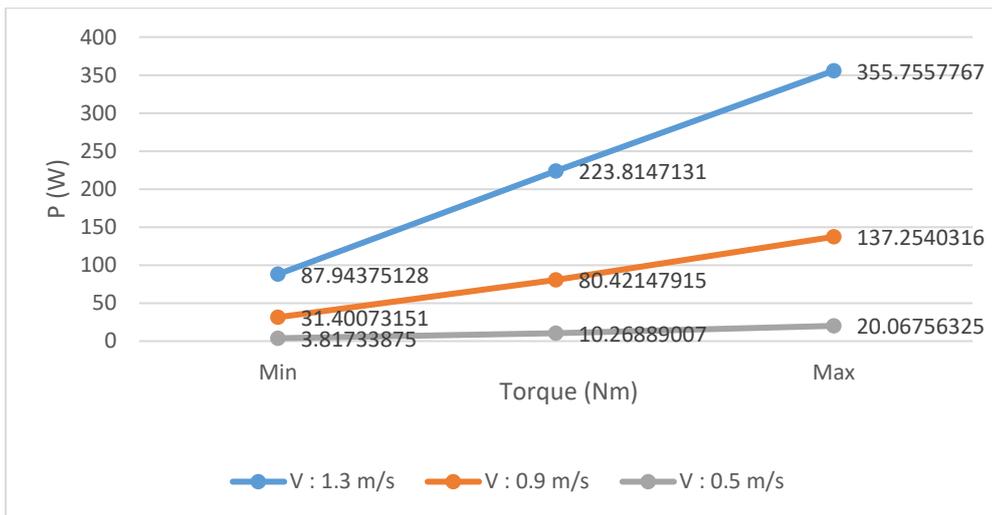
Table 5. The simulations' perimeter condition

Parameters	Value
Jenis Fluida	Water
Densitas fluida (kg/m ³)	1000
<i>Domain motion</i>	Turbine
<i>Boundary condition inlet flow</i>	Subsonic
Kecepatan Aliran (m/s)	0.5, 0.9, 1.3
Tekanan aliran keluar	Outflow
<i>Turbulence model</i>	K-omega SST
<i>Wall</i>	No-Slip Condition
Mesh Model	Dynamic mesh

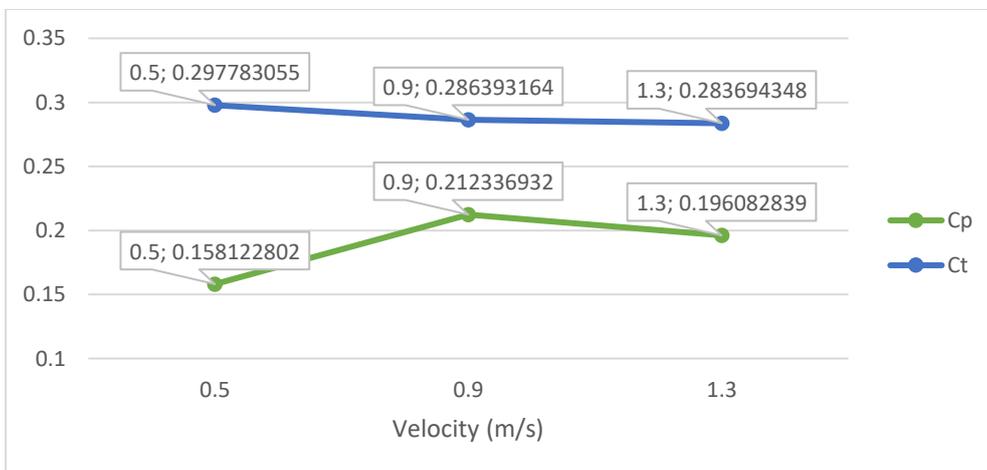
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kinerja SHT dianalisis secara numerik menggunakan satu jenis geometri sebagai variabel tetap dan kecepatan aliran 0,5, 0,9, dan 1,3 m/s sebagai variabel perubahan. Kontur tekanan dan kecepatan masing-masing desain ditentukan menggunakan prosedur simulasi, dengan data torsi diperoleh untuk memperoleh daya mekanik dan data C_p sebagai efisiensi SHT. Pada setiap kecepatan aliran fluida, diperoleh daya mekanik (P), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Dari hasil yang didapatkan, Grafik menampilkan, P_{max} atau daya mekanik tertinggi mencapai 355.755 (W) terjadi ketika torsi maksimal pada kecepatan aliran air 1,3 m/s. Dan nilai daya mekanik terendah yakni ketika kecepatan aliran 0,5 m/s. Hal ini sejalan dengan formula daya mekanik (P), yakni nilai daya mekanik akan mengalami kenaikan sejalan dengan nilai torsi, dimana nilai torsi sangat dipengaruhi oleh besaran gaya yang diterima oleh bilah. Selain dipengaruhi torsi, kecepatan sudut juga menjadi faktor penentu kenaikan nilai daya mekanik yang disebabkan oleh kecepatan aliran sungai. Sedangkan untuk nilai C_t mencapai nilai tertinggi ketika kecepatan aliran adalah 0,5 m/s dengan nilai 0,29 dan memiliki nilai yang hampir sama 0,28 ketika berada pada kecepatan aliran 0,9 dan 1,3 m / s. Selain itu ada juga Nilai C_p yang merupakan nilai, C_p max. pada kecepatan aliran 0,9 m / s dengan nilai C_p 0,21. Kemudian diikuti dengan nilai C_p 0,19 dan 0,15 pada kecepatan aliran masing-masing 0,9 dan 0,5 m/s. Hal ini sejalan dengan tren yang ada pada penelitian-penelitian sebelumnya.



Gambar 5. Grafik Daya mekanik vs Torque

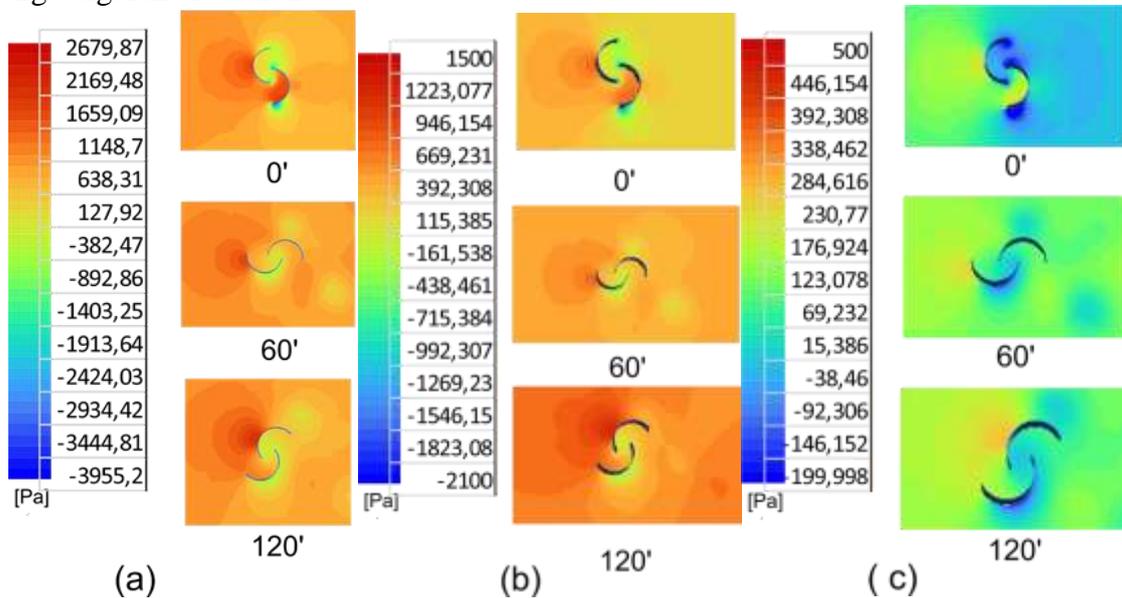


Gambar 6. Nilai C_p dan C_t pada masing-masing variabel kecepatan yang diteliti.

Selain data kuantitatif, adapun data kontur medan aliran yang diselidiki menggunakan simulasi CFD tiga dimensi, dengan variasi inlet kecepatan (V : 0,5 m/s, 0,9 m/s, dan 1,3 m/s). Kontur tekanan diplot pada berbagai titik sudut untuk menyelidiki medan aliran di sekitar bilah turbin seperti pada gambar 7.

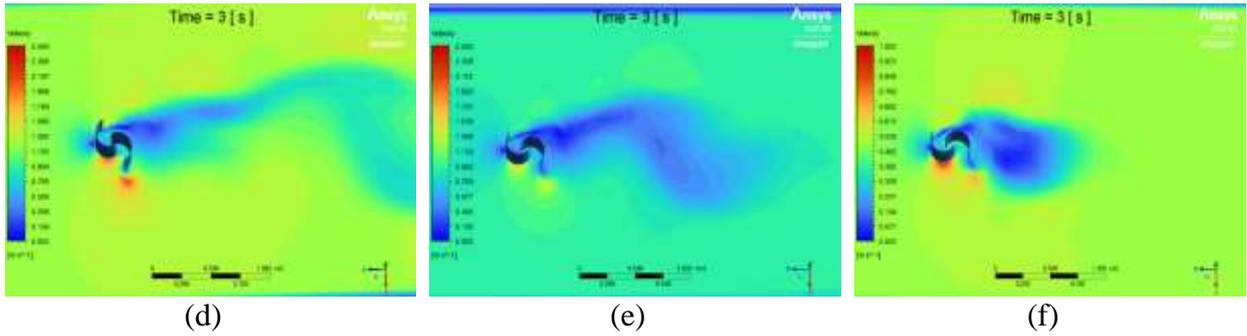
Nilai tekanan maksimum dan minimum diwakili oleh warna merah dan biru. Seperti terlihat pada Gambar 7. aliran fluida dari kiri ke kanan, dan sudu turbin berputar berlawanan arah jarum jam. Tiga zona utama yang dihasilkan selama putaran sudu turbin adalah zona bertekanan tinggi, zona bertekanan rendah, dan zona bertekanan sangat rendah. Tekanan berkurang di atas rotor dari hulu ke hilir, seperti yang ditunjukkan pada kontur tekanan Gambar 7. Pada saluran masuk, tekanannya seragam, pada sisi cekung dari profil sudu maju, dengan nilai tekanan yang lebih besar, sisi cembung profil sudu maju dan sisi cekung profil pisau kembali menghasilkan zona tekanan yang lebih rendah.

Akibatnya, dua zona tekanan, satu lebih tinggi dan satu lebih rendah, terbentuk di dekat sudu-sudu di dalam daerah aliran, menyebabkan penurunan tekanan. Saat tekanan di sekitar rotor berkurang, bilah turbin mulai berputar, memungkinkan SHT untuk menangkap energi kinetik dari air yang bergerak di saluran.



Gambar 7. Distribusi tekanan SHT sebagai fungsi kecepatan aliran air: (a)1,3 m/s, (b) 0,9 m/s, (c) 0,5 m/s

Representasi kontur kecepatan mengantisipasi fluktuasi kecepatan di berbagai area yang dekat dengan profil tepi di dalam ruang aliran. Gambar 8 dan 9 mengilustrasikan kontur kecepatan untuk sudu SHT pada tiga kecepatan berbeda dalam plot kontur kecepatan, arah putaran sudu turbin (berlawanan jarum jam) dan arah aliran fluida direpresentasikan dalam (Gambar 8. (d-f) dan 9. (g-i)). Kecepatan terbesar dan minimum ditunjukkan oleh warna merah dan biru di sisi kiri plot kontur kecepatan. Kecepatan air yang masuk ke turbin tetap konstan sampai mencapai zona putar. Untuk sudu SHT, kecepatan tertinggi pada ujung sudu maju adalah 2,585 m/s untuk kecepatan aliran 1,3 m/s, dan 1,669 m/s dan 0,936 m/s untuk kecepatan aliran masing-masing 0,9 m/s dan 0,5 m/s. Seperti terlihat pada Gambar 10, juga energi kinetik turbulen yang berasal dari semua kecepatan aliran. Menurut hasil simulasi, ketika kecepatan meningkat, energi kinetik turbulen juga akan meningkat. Kecepatan aliran sebanding dengan bilangan Reynolds. Semakin tinggi bilangan Reynolds, semakin cepat cairan adalah bergerak, yang mengarah ke nilai koefisien gesekan yang lebih tinggi. Akibatnya, akan ada lebih banyak turbulensi.



Gambar 12. Plot kontur kecepatan untuk tiga saluran masuk dengan kecepatan: (d) $V:1,3$ m/s, (e) $V:0,9$ m/s, (f) $V: 0,5$ m/s

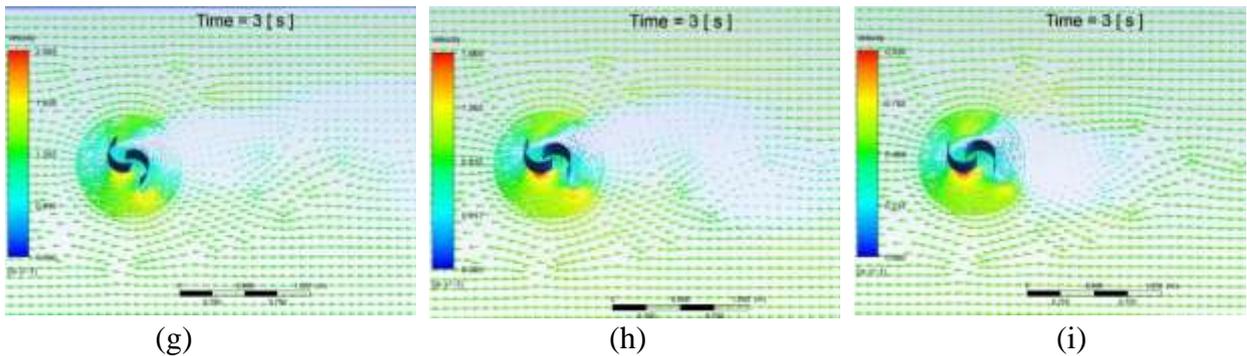


Figure 13. Vektor plots for SHT blades at three different velocity inlet: (g) $V: 1.3$ m/s, (h) $V: 0.9$ m/s, (i) $V: 0.5$ m/s.

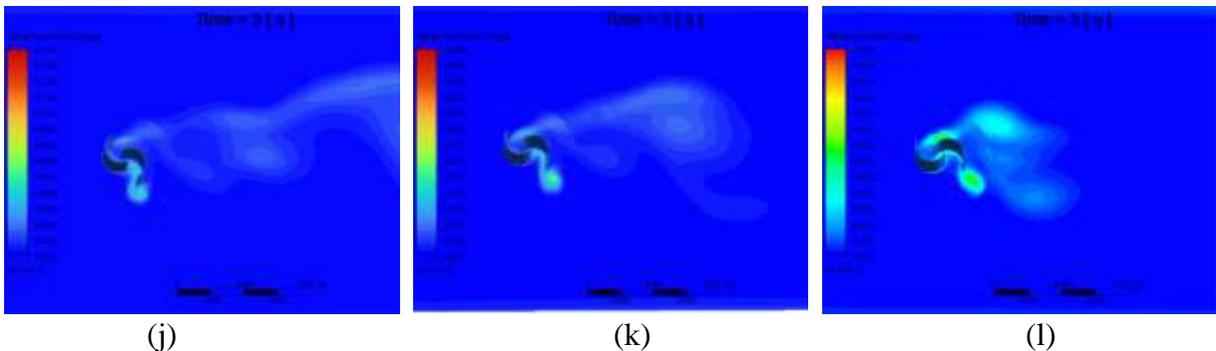


Figure 13. Turbulence kinetic energy for SHT blades at three different velocity inlet: (g) $V: 1.3$ m/s, (h) $V: 0.9$ m/s, (i) $V: 0.5$ m/s.

KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi dan perhitungan yang telah dilakukan, dengan mempertimbangkan kinerja bilah turbin dengan variasi aliran fluida sesuai dengan karakteristik sungai Pemali, Tegal, Jawa Tengah. Dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Daya mekanik ketika kecepatan fluida $V: 1,3$ m/s lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan air $V: 0,9$ m/s, dan $V: 0,5$ m/s.
2. Kecepatan aliran $V: 0,5$ m/s memiliki nilai C_t tertinggi di antara tiga laju aliran fluida jika dibandingkan dengan dua kecepatan lainnya.
3. C_p max dengan nilai 0,21 diperoleh ketika bilah SHT diberi kecepatan aliran air $V:0,9$ m/s.
4. Berdasarkan perbandingan dengan penelitian yang ada dan hasil nilai C_t dan C_p pada SHT yang telah disimulasikan di atas. pada 3 kecepatan rata-rata sungai Pemali, menunjukkan bahwa penerapan SHT bisa dijadikan sebagai patokan dalam rencana pembuatan atau

penelitian lebih lanjut terkait pengaplikasian turbin savonius dengan karakteristik aliran dan fluida yang serupa, baik dilakukan secara studi numerik maupun studi eksperimental.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Dr. Carrol Ng Cheng Yee dan Dr. Betty Ariani, S.T, M.T yang telah banyak membantu dalam memberikan pengetahuan, wawasan, dan bimbingan serta koreksi selama proses dari awal sampai akhir penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Wang, Z. Yang, B. Zhang, H. Li, and W. He, "How does urbanization affect energy consumption for central heating: Historical analysis and future prospects," *Energy Build.*, no. xxxx, p. 111631, 2021, doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111631.
- [2] H. van Asselt, "Governing fossil fuel production in the age of climate disruption: Towards an international law of 'leaving it in the ground,'" *Earth Syst. Gov.*, vol. 9, p. 100118, 2021, doi: 10.1016/j.esg.2021.100118.
- [3] D. M. Prabowoputra, S. Hadi, A. R. Prabowo, and J. M. Sohn, "Performance investigation of the savonius horizontal water turbine accounting for stage rotor design," *Int. J. Mech. Eng. Robot. Res.*, vol. 9, no. 2, pp. 184–189, 2020, doi: 10.18178/ijmerr.9.2.184-189.
- [4] T. Kinsey and G. Dumas, "Computational fluid dynamics analysis of a hydrokinetic turbine based on oscillating hydrofoils," *J. Fluids Eng. Trans. ASME*, vol. 134, no. 2, pp. 1–16, 2012, doi: 10.1115/1.4005841.
- [5] Erinofiardi *et al.*, "A Review on Micro Hydropower in Indonesia," *Energy Procedia*, vol. 110, no. December 2016, pp. 316–321, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.146.
- [6] D. M. Prabowoputra, A. R. Prabowo, S. Hadi, and J. M. Sohn, "Assessment of turbine stages and blade numbers on modified 3D Savonius hydrokinetic turbine performance using CFD analysis," *Multidiscip. Model. Mater. Struct.*, vol. 17, no. 1, pp. 253–272, 2021, doi: 10.1108/MMMS-12-2019-0224.
- [7] M. I. Yuce and A. Muratoglu, "Hydrokinetic energy conversion systems: A technology status review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 43, pp. 72–82, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2014.10.037.
- [8] J. Xu, T. Ni, and B. Zheng, "Hydropower development trends from a technological paradigm perspective," *Energy Convers. Manag.*, vol. 90, pp. 195–206, 2015, doi: 10.1016/j.enconman.2014.11.016.
- [9] M. Zemamou, M. Aggour, and A. Toumi, "Review of savonius wind turbine design and performance," *Energy Procedia*, vol. 141, pp. 383–388, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.047.
- [10] N. R. Maldar, C. Y. Ng, and E. Oguz, "A review of the optimization studies for Savonius turbine considering hydrokinetic applications," *Energy Convers. Manag.*, vol. 226, no. July, p. 113495, 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2020.113495.
- [11] V. Patel, G. Bhat, T. I. Eldho, and S. V. Prabhu, "Influence of overlap ratio and aspect ratio on the performance of Savonius hydrokinetic turbine," *Int. J. Energy Res.*, vol. 41, no. 6, pp. 829–844, 2017, doi: <https://doi.org/10.1002/er.3670>.
- [12] Pusdataru Provinsi Jawa Tengah, "Data Debit Rerata Setengah Bulanan Sungai Pemali - Bendung Notog Tahun 2014 - 2018," pusdataru.jatengprov.go.id, 2019. <http://pusdataru.jatengprov.go.id/pendata/dataset/data-debit-rerata-setengah-bulanan-sungai-pemali-bendung-notog-tahun-2014-2018> (accessed Sep. 28, 2021).
- [13] M. B. Salleh, N. M. Kamaruddin, Z. Mohamed-Kassim, and E. A. Bakar, "An experimental study on the improvement of a 2-Bladed and 3-Bladed conventional savonius rotors with a deflector for hydrokinetic application," *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 67, no. 1, pp. 93–102, 2020.