

Analisis Turbin Hidrokinetik Savonius Biomimetik Berbasis Kontur Tubuh Ikan Haruan (*Channa striata*) pada Kecepatan Aliran Rendah

Rendi*, Ahmandi Amin

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam Kalimantan MAB Banjarmasin.

Jl. Trans Kalimantan. Handil Bakti. Barito Kuala. Kalimantan Selatan.

*E-mail: rendi.teknikmesin@gmail.com

Dikirim: 13 Mei 2026; Diterima: 20 Juli 2026; Diterbitkan: 25 Juli 2026

Abstract

*This study aims to investigate the effect of a biomimetic blade design based on the body contour of the snakehead fish (*Channa striata*) on the torque characteristics of a Savonius hydrokinetic turbine. The biomimetic concept was applied to the turbine blade geometry to evaluate its potential for improving hydrodynamic performance compared with a conventional Savonius turbine. The research was conducted using Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations by comparing the moment coefficient (C_m) distribution as a function of rotor angular position for both biomimetic and conventional turbine configurations. The analysis was performed over a complete rotor revolution to identify torque generation characteristics and the influence of blade geometry on turbine performance. The results show that both turbine configurations exhibit similar moment coefficient distribution patterns, with the maximum moment coefficient occurring at rotor angles of approximately 30° – 40° and the minimum moment coefficient occurring at rotor angles of approximately 110° – 130° . However, the conventional Savonius turbine demonstrated superior performance compared with the biomimetic design. The maximum moment coefficient of the conventional turbine reached approximately 0.35, whereas the biomimetic turbine achieved only about 0.20. In addition, the biomimetic turbine produced a more negative minimum moment coefficient of approximately -0.40 compared with -0.30 for the conventional turbine. These findings indicate that the snakehead fish-inspired blade geometry employed in this study has not yet enhanced the rotor's torque-producing capability nor effectively reduced the adverse effect of the returning blade. Nevertheless, the proposed biomimetic concept remains promising and warrants further investigation through optimization of blade profile, blade orientation, overlap ratio, aspect ratio, and operating conditions to achieve improved hydrokinetic turbine performance.*

Keywords: biomimetic; hydrokinetic; moment coefficient; snakehead fish

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi global terus meningkat akibat pertumbuhan populasi, urbanisasi, perkembangan industri, dan kemajuan teknologi. Di sisi lain, penggunaan bahan bakar fosil yang masih mendominasi sektor energi menjadi penyebab utama peningkatan emisi gas rumah kaca yang memicu perubahan iklim global. [1],[2]. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan adalah energi hidrokinetik. Energi hidrokinetik merupakan energi yang berasal dari energi kinetik aliran air tanpa memerlukan bendungan maupun perbedaan elevasi yang besar sebagaimana pada pembangkit listrik tenaga air konvensional. Potensi energi ini banyak ditemukan pada sungai, saluran irigasi, kanal, dan arus pasang surut yang tersebar di berbagai wilayah. Keunggulan utama energi hidrokinetik adalah dampak lingkungan yang relatif kecil, biaya instalasi yang lebih rendah, serta kemampuannya untuk dimanfaatkan pada daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik utama [3],[4].

Pemanfaatan energi hidrokinetik dilakukan melalui sistem konversi energi yang menggunakan turbin sebagai pengubah energi kinetik fluida menjadi energi mekanik. Ketika aliran air melewati sudu turbin, energi kinetik air akan menghasilkan gaya yang menyebabkan rotor berputar. Putaran tersebut kemudian diteruskan ke generator untuk menghasilkan energi listrik. Teknologi ini dinilai sesuai untuk daerah pedesaan dan wilayah perairan dengan debit stabil karena mampu menghasilkan energi secara berkelanjutan tanpa memerlukan infrastruktur yang kompleks [5],[6].

Berbagai jenis turbin hidrokinetik telah dikembangkan untuk meningkatkan pemanfaatan energi aliran air, seperti turbin Savonius, Darrieus, Gorlov Helical Turbine, H-Darrieus, dan turbin sumbu horizontal. Pada kondisi aliran rendah, turbin sumbu vertikal lebih banyak digunakan karena memiliki kemampuan self-starting yang baik, konstruksi sederhana,

serta mampu menerima aliran dari berbagai arah tanpa memerlukan sistem yaw. Di antara berbagai jenis turbin tersebut, turbin Savonius menjadi salah satu pilihan yang banyak diteliti karena memiliki torsi awal yang tinggi dan mampu beroperasi pada kecepatan aliran rendah yang umum ditemukan pada sungai-sungai di Indonesia [7],[8]

Meskipun memiliki beberapa keunggulan, turbin hidrokinetik masih menghadapi berbagai keterbatasan, terutama pada kondisi aliran rendah. Pada kecepatan aliran sekitar 0,6 m/s, energi kinetik yang tersedia relatif kecil sehingga menyebabkan torsi, daya keluaran, dan efisiensi turbin mengalami penurunan. Selain itu, fenomena separasi aliran, turbulensi berlebih, serta distribusi tekanan yang tidak merata pada permukaan sudu sering menimbulkan kehilangan energi yang signifikan. Kondisi tersebut menyebabkan performa turbin hidrokinetik belum optimal untuk diterapkan pada sungai dengan karakteristik aliran lambat yang banyak dijumpai di wilayah Indonesia [9],[10],[11]

Berbagai upaya telah dilakukan oleh peneliti untuk meningkatkan performa turbin hidrokinetik pada kondisi aliran rendah. Modifikasi yang dilakukan antara lain berupa perubahan geometri sudu, optimasi overlap ratio, penambahan end plate, penggunaan guide vane, pemasangan deflector plate, pengembangan rotor bertingkat, hingga penerapan pendekatan biomimetik yang meniru bentuk biologis tertentu untuk meningkatkan karakteristik hidrodinamika rotor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa modifikasi tersebut mampu meningkatkan koefisien daya dan karakteristik aliran di sekitar sudu turbin [12],[5],[13]

Namun demikian, berbagai solusi yang telah dikembangkan masih memiliki keterbatasan. Penambahan guide vane dan deflector plate cenderung meningkatkan kompleksitas konstruksi serta biaya manufaktur. Modifikasi geometris konvensional juga sering menghasilkan peningkatan performa yang terbatas pada kondisi operasi tertentu. Selain itu, sebagian besar penelitian biomimetik masih berfokus pada organisme laut atau bentuk biologis yang tidak secara spesifik beradaptasi pada lingkungan perairan sungai berarus lambat. Akibatnya, peningkatan performa yang dihasilkan belum sepenuhnya efektif untuk kondisi aliran rendah sekitar 0,6 m/s yang menjadi fokus pengembangan turbin hidrokinetik skala kecil [14],[15]

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini menawarkan pendekatan biomimetik melalui penerapan kontur tubuh ikan haruan (*Channa striata*) pada desain sudu turbin Savonius hidrokinetik. Ikan haruan merupakan spesies ikan air tawar yang hidup pada perairan sungai, rawa, dan kanal dengan karakteristik aliran relatif lambat. Bentuk tubuh ikan haruan berkembang melalui proses adaptasi alami yang memungkinkan pergerakan lebih efisien pada lingkungan tersebut. Oleh karena itu, penerapan kontur tubuh ikan haruan pada desain sudu diperkirakan mampu memperbaiki distribusi tekanan, mengurangi turbulensi, meningkatkan karakteristik aliran di sekitar rotor, serta meningkatkan kemampuan ekstraksi energi pada kecepatan aliran rendah. Untuk mengevaluasi pengaruh modifikasi tersebut digunakan metode Computational Fluid Dynamics (CFD) yang mampu menganalisis fenomena aliran secara detail dan akurat.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik aliran dan performa turbin hidrokinetik Savonius biomimetik berbasis kontur tubuh ikan haruan (*Channa striata*) menggunakan simulasi CFD pada kecepatan aliran rendah sebesar 0,6 m/s. Parameter yang dianalisis meliputi distribusi tekanan, pola aliran, torsi, koefisien daya, dan karakteristik hidrodinamika lainnya. Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan turbin hidrokinetik berperforma tinggi untuk wilayah perairan berarus rendah serta menjadi referensi bagi pengembangan teknologi energi terbarukan berbasis biomimetik di masa mendatang.

2. Material dan metodologi

2.1 Pengembangan Geometri Turbin

Penelitian ini menggunakan turbin hidrokinetik Savonius sebagai model dasar yang kemudian dimodifikasi menggunakan pendekatan biomimetik berdasarkan kontur tubuh ikan haruan (*Channa striata*). Turbin Savonius

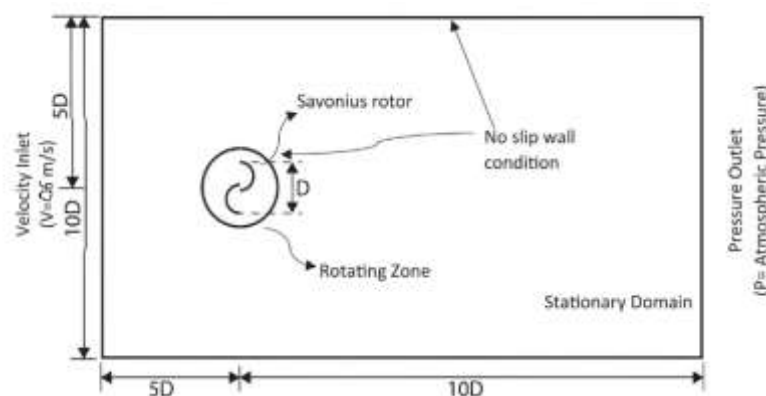
konvensional digunakan sebagai model pembanding, sedangkan model biomimetik dikembangkan dengan mengintegrasikan profil tubuh ikan haruan pada geometri sudu turbin. Kontur tubuh ikan diperoleh melalui proses digitalisasi citra tampak samping ikan haruan yang kemudian diekstraksi menggunakan metode spline curve pada perangkat lunak Computer-Aided Design (CAD). Profil hasil ekstraksi selanjutnya dinormalisasi terhadap dimensi rotor sehingga dapat diterapkan pada sudu tanpa mengubah ukuran utama turbin. Modifikasi geometri dilakukan dengan mempertahankan diameter rotor, tinggi rotor, jumlah sudu, dan konfigurasi dasar Savonius. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa perubahan performa yang terjadi berasal dari pengaruh bentuk biomimetik yang diterapkan pada profil sudu.



Gambar 1. Turbin Hidrokinetik biomimetik berbasis kontur tubuh ikan haruan (*Channa striata*)

2.2 Simulasi Numerik

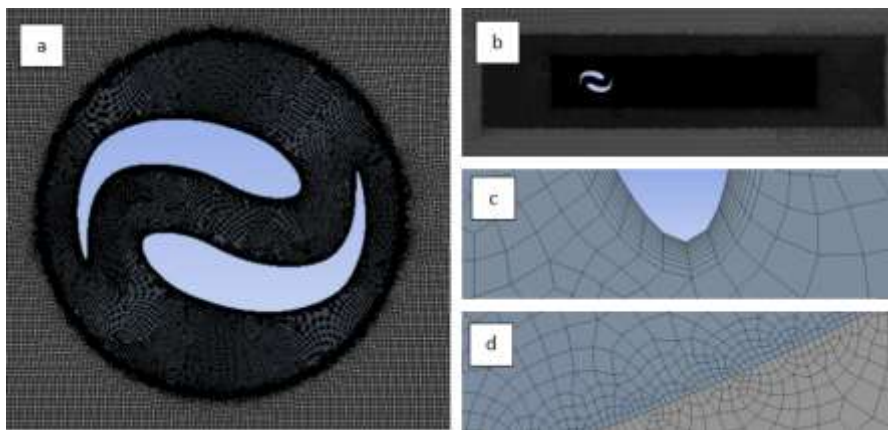
Simulasi numerik dilakukan menggunakan pendekatan Computational Fluid Dynamics (CFD) pada domain komputasi dua dimensi untuk merepresentasikan karakteristik aliran hidrokinetik yang berinteraksi dengan turbin. Domain komputasi ditentukan berdasarkan diameter rotor (D) guna meminimalkan efek blockage dan gangguan aliran akibat pengaruh batas domain. Jarak inlet terhadap pusat rotor ditetapkan sebesar $5D$, sedangkan jarak outlet sebesar $10D$. Batas atas dan bawah domain masing-masing ditempatkan pada jarak $5D$ dari pusat rotor sehingga aliran dapat berkembang secara alami selama proses simulasi. Domain simulasi dibagi menjadi dua zona, yaitu zona diam (stationary zone) dan zona berputar (rotating zone). Zona berputar ditempatkan di sekitar rotor untuk merepresentasikan gerakan sudu selama operasi turbin, sedangkan kedua zona dihubungkan menggunakan teknik sliding mesh sehingga interaksi antara rotor dan aliran dapat dimodelkan secara akurat.



Gambar 2. Domain komputasi dan kondisi batas simulasi.

Proses diskretisasi domain dilakukan menggunakan mesh tak beraturan (unstructured mesh) yang didominasi oleh elemen segitiga. Penyempurnaan mesh diterapkan pada daerah sekitar sudu, antarmuka zona putar, dan daerah wake karena pada wilayah tersebut terjadi gradien tekanan dan kecepatan yang tinggi serta pembentukan struktur vorteks. Untuk memastikan bahwa hasil simulasi tidak dipengaruhi oleh jumlah elemen mesh, dilakukan uji independensi grid menggunakan tiga tingkat kerapatan mesh, yaitu mesh kasar, mesh sedang, dan mesh halus. Nilai torsi rata-rata rotor digunakan sebagai parameter evaluasi. Mesh yang menghasilkan perubahan nilai torsi kurang dari 2% dibandingkan mesh yang lebih rapat dipilih sebagai mesh akhir yang digunakan pada seluruh simulasi.

Aliran fluida dalam penelitian ini diasumsikan sebagai fluida inkompresibel dan turbulen. Karakteristik aliran dianalisis menggunakan persamaan kontinuitas dan persamaan Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) yang diselesaikan dengan metode Finite Volume Method (FVM). Simulasi dilakukan secara transient karena karakteristik aliran pada turbin bersifat tidak tunak (unsteady flow) akibat fenomena separasi aliran dan pembentukan vorteks selama rotasi rotor. Model turbulensi SST $k-\omega$ dipilih karena mampu memberikan prediksi yang lebih baik terhadap fenomena aliran dekat dinding, gradien tekanan yang tinggi, serta separasi aliran yang umum terjadi pada turbin Savonius. Kondisi batas yang diterapkan pada simulasi meliputi velocity inlet pada sisi masuk domain dengan kecepatan aliran sebesar 0,6 m/s yang merepresentasikan kondisi aliran rendah pada sungai dan saluran irigasi di Indonesia. Pada sisi keluar domain diterapkan pressure outlet dengan tekanan relatif nol. Permukaan sudu dan poros rotor didefinisikan sebagai kondisi no-slip wall, sedangkan batas atas dan bawah domain ditetapkan sebagai symmetry boundary untuk mengurangi pengaruh dinding terhadap karakteristik aliran. Sifat fluida yang digunakan mengacu pada air tawar pada temperatur 25°C. Hasil simulasi kemudian dianalisis berdasarkan distribusi tekanan, kontur kecepatan, pola aliran, karakteristik vorteks, koefisien torsi (C_m), dan koefisien daya (C_p) untuk mengevaluasi kinerja turbin hidrokinetik yang dikembangkan.



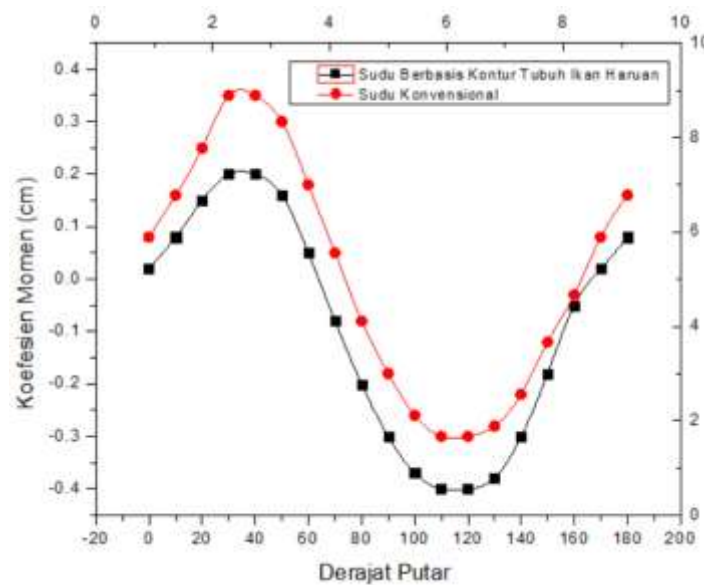
Gambar 3 Pembuatan Mesh (a) Inner domain (b) Seluruh domain (c) Detail mesh di sekitar turbin (d) lapisan prismatic pada interface mesh

3. Hasil dan Pembahasan

Gambar menunjukkan perbandingan koefisien momen (C_m) antara Turbin Hidrokinetik Savonius Biomimetik Berbasis Kontur Tubuh Ikan Haruan (*Channa striata*) dan turbin Savonius konvensional pada rentang sudut putar 0° hingga 180°. Koefisien momen merupakan parameter penting yang menggambarkan kemampuan rotor menghasilkan torsi selama satu siklus putaran. Semakin tinggi nilai koefisien momen positif yang dihasilkan, maka semakin besar

kemampuan rotor dalam mengubah energi kinetik aliran menjadi energi mekanik. Sebaliknya, nilai koefisien momen negatif menunjukkan adanya hambatan putaran akibat gaya drag yang bekerja berlawanan dengan arah rotasi rotor.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, kedua model turbin menunjukkan pola perubahan koefisien momen yang relatif serupa sepanjang satu siklus putaran. Nilai koefisien momen meningkat dari sudut awal hingga mencapai puncak positif pada kisaran sudut 30° – 40° , kemudian mengalami penurunan secara bertahap hingga memasuki daerah negatif setelah melewati sudut sekitar 70° . Nilai koefisien momen negatif mencapai titik minimum pada kisaran sudut 120° – 130° , kemudian meningkat kembali hingga mendekati nilai positif pada akhir siklus pengamatan. Pola tersebut sesuai dengan karakteristik umum turbin Savonius yang bekerja berdasarkan perbedaan gaya hambat antara sudu maju (*advancing blade*) dan sudu kembali (*returning blade*).



Gambar 4 Perbandingan koefisien momen (Cm) Pada Rentang Sudut Putar 0° hingga 180°

Pada daerah awal putaran, yaitu antara 0° hingga 60° , turbin konvensional menghasilkan koefisien momen yang lebih tinggi dibandingkan turbin biomimetik. Nilai puncak koefisien momen turbin konvensional mencapai sekitar 0,35, sedangkan turbin biomimetik hanya mencapai sekitar 0,20. Hasil ini menunjukkan bahwa pada fase ketika sudu menerima gaya dorong maksimum dari aliran, desain konvensional masih mampu menghasilkan torsi yang lebih besar. Fenomena tersebut mengindikasikan bahwa modifikasi kontur tubuh ikan haruan yang diterapkan pada sudu belum sepenuhnya mampu meningkatkan distribusi tekanan pada sisi cekung sudu yang berperan sebagai penghasil torsi utama. Perbedaan ini dapat dijelaskan melalui karakteristik aerodinamika atau hidrodinamika dari kedua desain. Pada turbin Savonius konvensional, bentuk sudu setengah silinder menghasilkan daerah tekanan tinggi yang cukup luas pada sisi yang berhadapan langsung dengan aliran. Kondisi tersebut meningkatkan gaya drag positif sehingga torsi yang dihasilkan menjadi lebih besar. Sebaliknya, pada turbin biomimetik, perubahan geometri sudu mengikuti kontur tubuh ikan haruan yang lebih streamline. Walaupun bentuk streamline berpotensi mengurangi hambatan aliran, pengurangan drag pada sisi pendorong juga dapat menyebabkan penurunan torsi yang dihasilkan.

Ketika rotor memasuki rentang sudut 70° hingga 130° , kedua turbin mengalami penurunan koefisien momen hingga bernilai negatif. Pada daerah ini sudu kembali mulai menerima gaya hambat yang lebih besar dibandingkan gaya dorong yang diterima sudu maju. Akibatnya, rotor mengalami penurunan kemampuan menghasilkan torsi. Namun demikian,

terdapat perbedaan menarik antara kedua model. Nilai minimum koefisien momen turbin biomimetik berada pada kisaran -0,40, sedangkan turbin konvensional hanya sekitar -0,30. Hasil ini menunjukkan bahwa selama fase tertentu, sudu biomimetik justru mengalami hambatan yang lebih besar dibandingkan desain konvensional.

Fenomena tersebut dapat disebabkan oleh distribusi aliran yang belum optimal pada permukaan sudu biomimetik. Kontur tubuh ikan haruan yang diterapkan mungkin menghasilkan daerah separasi aliran yang lebih luas pada sudut tertentu sehingga meningkatkan tekanan balik (*back pressure*) pada sudu kembali. Akibatnya, torsi negatif yang muncul menjadi lebih besar. Kondisi ini menunjukkan bahwa modifikasi biomimetik yang diterapkan belum mampu mengurangi pengaruh sudu kembali secara efektif.

Meskipun demikian, hasil ini tidak serta-merta menunjukkan bahwa pendekatan biomimetik tidak layak untuk dikembangkan. Justru hasil tersebut memberikan informasi penting mengenai area yang masih dapat dioptimalkan. Dalam banyak penelitian biomimetik, bentuk yang diadaptasi dari organisme hidup umumnya tidak langsung memberikan performa terbaik pada tahap awal desain. Proses optimasi lanjutan diperlukan untuk menemukan konfigurasi geometri yang paling sesuai dengan kondisi operasi turbin.

Pada rentang sudut 140° hingga 180° , kedua turbin kembali mengalami peningkatan koefisien momen. Turbin konvensional tetap menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan turbin biomimetik. Hal ini mengindikasikan bahwa kemampuan pemulihan torsi setelah melewati daerah negatif masih lebih baik pada desain konvensional. Dengan kata lain, distribusi gaya hidrodinamika sepanjang satu siklus putaran masih lebih menguntungkan pada turbin Savonius konvensional dibandingkan desain biomimetik yang diuji.

Jika ditinjau secara keseluruhan, luas daerah positif pada kurva turbin konvensional lebih besar dibandingkan turbin biomimetik. Selain itu, amplitudo torsi negatif yang terjadi pada turbin biomimetik juga lebih besar. Kombinasi kedua faktor tersebut menyebabkan performa rata-rata turbin biomimetik masih berada di bawah turbin konvensional. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa desain Turbin Hidrokinetik Savonius Biomimetik Berbasis Kontur Tubuh Ikan Haruan (*Channa striata*) yang digunakan pada penelitian ini belum mampu melampaui kinerja turbin Savonius konvensional.

Walaupun demikian, hasil penelitian ini tetap menunjukkan potensi pengembangan yang menarik. Pendekatan biomimetik menawarkan fleksibilitas desain yang lebih besar dibandingkan geometri Savonius konvensional. Bentuk tubuh ikan haruan secara alami telah berevolusi untuk bergerak secara efisien di lingkungan perairan dengan karakteristik aliran yang beragam. Oleh karena itu, prinsip-prinsip hidrodinamika yang terkandung pada kontur tubuh ikan haruan masih berpotensi dimanfaatkan untuk meningkatkan performa turbin melalui proses optimasi yang lebih lanjut.

Salah satu strategi optimasi yang dapat dilakukan adalah mengatur ulang posisi sudu terhadap poros rotor. Perubahan posisi sudu dapat memengaruhi distribusi tekanan dan pola aliran di sekitar rotor sehingga berpotensi meningkatkan torsi positif sekaligus mengurangi torsi negatif. Selain itu, parameter overlap ratio, aspect ratio, sudut pemasangan sudu, dan jarak antar sudu juga dapat dioptimalkan untuk memperoleh konfigurasi yang lebih efektif.

Optimalisasi juga dapat dilakukan dengan memodifikasi tingkat kemiripan kontur biomimetik terhadap bentuk asli tubuh ikan haruan. Tidak semua bagian tubuh ikan harus direplikasi secara penuh pada desain sudu. Pendekatan yang lebih selektif dapat diterapkan dengan hanya mempertahankan bagian-bagian kontur yang terbukti memberikan keuntungan hidrodinamika, seperti bagian kepala, badan, atau profil lengkungan tertentu. Dengan cara ini, keunggulan bentuk biomimetik dapat dimanfaatkan tanpa mengorbankan kemampuan menghasilkan gaya drag yang diperlukan oleh turbin Savonius.

Selain aspek geometris, pengaruh parameter operasi seperti tip speed ratio (TSR), kecepatan aliran, dan tingkat turbulensi juga perlu diteliti lebih lanjut. Sangat mungkin bahwa desain biomimetik yang diuji belum bekerja pada kondisi operasi optimum. Pada nilai TSR tertentu, pola aliran yang terbentuk di sekitar sudu biomimetik dapat berubah dan menghasilkan performa yang lebih baik dibandingkan yang terlihat pada hasil saat ini.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi numerik dan analisis koefisien momen (C_m) yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Turbin Hidrokinetik Savonius Biomimetik Berbasis Kontur Tubuh Ikan Haruan (*Channa striata*) menunjukkan karakteristik torsi yang serupa dengan turbin Savonius konvensional, yaitu menghasilkan koefisien momen maksimum pada rentang sudut putar 30° – 40° dan koefisien momen minimum pada rentang sudut 110° – 130° . Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme pembangkitan torsi pada kedua desain masih didominasi oleh perbedaan gaya hambat antara sudu maju (*advancing blade*) dan sudu kembali (*returning blade*).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa turbin Savonius konvensional memiliki performa yang lebih baik dibandingkan turbin biomimetik. Nilai koefisien momen maksimum turbin konvensional mencapai sekitar 0,35, sedangkan turbin biomimetik hanya mencapai sekitar 0,20. Selain itu, turbin biomimetik menghasilkan koefisien momen minimum yang lebih negatif, yaitu sekitar -0,40 dibandingkan -0,30 pada turbin konvensional. Kondisi ini mengindikasikan bahwa desain biomimetik yang digunakan pada penelitian ini belum mampu meningkatkan kemampuan rotor dalam menghasilkan torsi serta belum efektif dalam mengurangi pengaruh negatif dari sudu kembali.

Meskipun demikian, penerapan konsep biomimetik berbasis kontur tubuh ikan haruan masih menunjukkan potensi untuk dikembangkan lebih lanjut. Bentuk biomimetik yang diterapkan kemungkinan belum berada pada konfigurasi geometris yang optimal sehingga belum mampu memberikan keuntungan hidrodinamika yang signifikan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan melalui optimasi parameter desain seperti bentuk dan profil sudu, posisi pemasangan sudu, sudut orientasi sudu, overlap ratio, aspect ratio, serta kondisi operasi turbin untuk memperoleh konfigurasi yang lebih efektif.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Islam Kalimantan Banjarmasin atas dukungan, fasilitas, dan kesempatan yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dan diselesaikan dengan baik. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya di bidang energi terbarukan.

Daftar Pustaka

- [1] I. E. AGENCY, *Renewables*. International Energy Agency, 2024.
- [2] M. Altan, B. D., & Atilgan, "The use of a curtain design to increase the performance level of a Savonius wind rotors," *Renew. Energy*, vol. 35, no. 4, pp. 821–829, 2010.
- [3] K. Eksperimental, T. Air, and D. T. Menggunakan, "Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha," vol. 9, no. 2, pp. 109–123, 2021, doi: 10.23887/jptm.v9i2.29257.
- [4] W. B. Power, "Waterotor Energy Technologies Inc. -," no. March, 2012.
- [5] J. Arifin and M. Pauzan, "ENHANCED PERFORMANCE OF THE GORLOV HYDROKINETIC TURBINE," vol. 18, no. 1, pp. 19–25, 2024, doi: 10.24853/sintek.18.1.19-25.
- [6] Rendi, S. Ihsan, and S. Ma'arif, "Turbin Air Arus Sungai Model Sudu Propeller Menggunakan Nozzel-Diffuser," *J.*

Engine, vol. 4, no. 1, pp. 27–33, 2020.

- [7] T. Antomo, I. M. Kamiana, and D. A. Nindito, “Analisis pengembangan hidrokinetik turbin gorlov akibat penambahan luas bidang tangkap,” *Tek. J. Sains dan Teknol.*, vol. 16, no. 2, p. 159, 2020, doi: 10.36055/tjst.v16i2.9186.
- [8] V. N. Chaudhari and S. P. Shah, “Numerical investigation on the performance of an innovative Airfoil-Bladed Savonius Hydrokinetic Turbine (ABSHKT) with deflector,” *Int. J. Thermofluids*, vol. 17, no. January 2023, p. 100279, 2027, doi: 10.1016/j.ijft.2023.100279.
- [9] R. Rendi, B. Hatradi, M. Irfansyah, and P. Puteri, “Desain Underwater Rotor Untuk Memanfaatkan Laju Aliran Sungai Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air,” *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 5, no. 2, p. 77, 2021, doi: 10.30588/jeemm.v5i2.888.
- [10] D. S. Khais and B. Ariani, “Seminar Nasional TREN D Analisa Kinerja Savonius Hydrokinetic Turbine Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic Pada Studi Kasus Sungai Pemali , Tegal , Jawa Tengah,” 2022.
- [11] H. J. et al Vermaak, “Status of micro-hydrokinetic river technology in rural applications,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 29, pp. 625–633, 2014.
- [12] R. Iliev, G. Todorov, and K. Kamberov, “Evaluation of the Performance of Optimized Horizontal-Axis Hydrokinetic Turbines,” pp. 1–22, 2025.
- [13] E. Paniagua-garcía, E. Taborda, and C. Nieto-londoño, “A meta-model based cross-sectional shape of a Savonius hydrokinetic turbine for sustainable power generation in remote rural areas,” *Renew. Energy*, vol. 244, no. August 2024, p. 122647, 2025, doi: 10.1016/j.renene.2025.122647.
- [14] D. Parameters and S. Hydrokinetic, “Numerical and Experimental Investigation of the Effect of,” 2022.
- [15] J. Yao, F. Li, J. Chen, Z. Yuan, and W. Mai, “Parameter Analysis of Savonius Hydraulic Turbine Considering the Effect of Reducing Flow Velocity,” 2020.