

PEMODELAN TURBIN SAVONIUS-DARRIEUS PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT MENGGUNAKAN CFD

Boris Metheny¹, Rosyida Permatasari^{2*} dan Muhammad Sjahrul Annas²

¹Prodi Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

*Corresponding author: rosyida@trisakti.ac.id

Abstract. PLTAL (Sea Current Electric Power Plant) is an electric powerplant that uses turbine to transform sea current kinetic energy into an electric energy. Indonesian sea current energy potential around 45 GW can be an alternative environmental friendly energy solution in the future. In this research, modelling of the turbine using CFD method has done with comparing the performance of the geometry that includes angle of attack and the TSR (tip speed ratio) values of the Savonius-Darrieus Turbine to find the coefficient of power when the value of the TSR 1,427; 2,853; 4,28; 5; and 5,7. Savonius-Darrieus Turbine that used is the turbine with Savonius Rotor diameter of 304 mm, 300 mm length of span, without any bucket spacing and Darrieus Rotor that uses NACA 0018 hydrofoil profile with angle of attack 0°, 5° dan 10°, using three blades, with the length of the span 357 mm, turbine diameter 428 mm, and the length of the hydrofoil chord 40 mm. From this research, the optimum result that used for the powerplant is the turbine geometry with an angle of attack of 5° when the TSR value is in 5; resulting coefficient of power valued 0,469. Meanwhile, the variation with the smallest coefficient of power is the turbine with an angle of attack of 10° when the TSR equals 4,28, resulting coefficient of power valued 0,206.

Abstrak. PLTAL (Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan turbin untuk mengubah energi arus laut menjadi energi listrik. Potensi energi arus laut di Indonesia yang mencapai 45 GW dapat menjadi solusi energi alternatif yang ramah lingkungan di masa yang akan datang. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan turbin dengan menggunakan metode CFD dengan membandingkan performa beberapa variasi sudut serang dan nilai TSR (Tip Speed Ratio) dari Turbin Savonius-Darrieus untuk mencari koefisien daya dari variasi nilai TSR yaitu 1,427; 2,853; 4,28; 5; and 5,7. Turbin Savonius-Darrieus yang dirancang adalah turbin dengan kombinasi Rotor Savonius dengan diameter 304 mm, panjang span 300 mm, tanpa adanya bucket spacing dengan Rotor Darrieus menggunakan profil hydrofoil NACA 0018 dengan variasi sudut serang 0°, 5° dan 10° berjumlah 3 sudu, panjang span 357 mm, diameter turbin 428 mm, dan panjang chord turbin 40 mm. Dari hasil pemodelan diperoleh turbin dengan variasi yang paling optimum untuk digunakan pada pembangkit listrik tenaga arus laut yaitu pada variasi sudut serang 5° pada saat nilai TSR sama dengan 5; dengan koefisien daya senilai 0,469. Sedangkan variasi dengan koefisien daya terkecil dimiliki oleh geometri dengan sudut serang 10° pada saat nilai TSR sama dengan 4,28, dengan koefisien daya senilai 0,206.

Kata kunci: CFD, Koefisien Daya, Sudut Serang, Turbin Savonius-Darrieus, Tip Speed Ratio.

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara maritim yang dua per tiga luasnya adalah lautan. Lautan adalah salah satu kekayaan terbesar Indonesia mulai dari hasil lautnya yang berlimpah hingga potensi energi yang dimilikinya. Salah satu potensi energi yang dapat dimanfaatkan adalah energi arus laut yang dapat menjadi alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi nasional. Menurut kajian Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) bahwa energi laut di Indonesia berpotensi menghasilkan energi listrik sebesar 45 GW Potensi energi arus laut di

Indonesia yang mencapai 45 GW dapat dijadikan salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pada tahun 2025. Pemanfaatan energi arus laut ini juga dapat menjadi salah satu solusi permasalahan nasional yaitu penggunaan energi terbarukan di Indonesia yang harus mencapai 25,9% pada tahun 2025.[1]

Pada penelitian ini dilakukan analisis simulasi dari hasil rancangan turbin Savonius-Darrieus dengan menggunakan metoda Computational Fluid Dynamics (CFD). Simulasi dilakukan dengan memodelkan turbin dalam bentuk 2 dimensi.

Analisis dilakukan dengan berbagai kondisi variasi kecepatan arus laut dan variasi sudut serang pada turbin Darrieus. Turbin tipe kombinasi Savonius-Darrieus dipilih karena permasalahan torsi awal pada Turbin Darrieus yang cenderung negatif. [2]

Permasalahan yang berkaitan dengan perubahan iklim yang disebabkan oleh penggunaan sumber daya alam yang tidak ramah lingkungan dan ketersediaan dari sumber daya alam itu sendiri menjadi alasan mengapa dilakukan penelitian ini. Arus laut merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang tidak akan habis di masa yang akan datang. Fungsi dari turbin sejatinya adalah untuk mengubah energi kinetik dari arus laut tersebut menjadi energi listrik yang dapat dipakai untuk memenuhi kebutuhan energi nasional.

Pada penelitian ini dilakukan analisis pemodelan simulasi terhadap hasil rancangan turbin Savonius-Darrieus untuk mengetahui nilai TSR hasil pemodelan beserta variasi geometri yang paling optimum. Pemodelan dilakukan untuk mengetahui perbedaan unjuk kerja yang dihasilkan dengan variasi sudut serang hydrofoil dengan variasi TSR pada turbin. Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat model Turbin Savonius-Darrieus menggunakan metoda CFD untuk pembangkit listrik tenaga arus laut.

Metode Penelitian

Model turbulen Shear-Stress Transport (SST) $\kappa-\omega$ yang dipakai pada penelitian ini adalah jenis model hybrid, yang menggabungkan dua model untuk menghitung aliran yang lebih baik di wilayah dekat dinding. Model ini dirancang sebagai respons terhadap masalah kinerja dekat-dinding $\kappa-\epsilon$ model yang tidak memuaskan untuk lapisan batas dengan gradien tekanan yang merugikan. Model ini menggunakan model $\kappa-\epsilon$ standar untuk menghitung properti aliran di daerah aliran bebas (turbulen) jauh dari dinding dengan menggunakan model $k-\epsilon$ yang dimodifikasi di dekat dinding menggunakan frekuensi turbulensi ω sebagai variabel kedua alih-alih kinetik turbulen istilah disipasi energi ϵ . Karena air laut dalam penelitian turbin ini mengalir di antara sudu-sudu yang sangat berdekatan satu sama lain, diharapkan aliran lapisan batas memiliki pengaruh yang kuat pada hasil, dan pemodelan aliran dekat dinding yang tepat ini dapat memberikan dampak yang baik untuk akurasi perhitungan.[3]

Penelitian ini melanjutkan penelitian yang telah dilakukan oleh Prayoga, 2019 [4] yakni mengembangkan analisa Turbin tipe Darrieus dengan tipe kombinasi Savonius-Darrieus. Parameter yang digunakan untuk menggambarkan fenomena aliran di sekitar model yaitu torsi yang

dihasilkan. Pemodelan dalam bentuk 2 dimensi dilakukan dengan perangkat lunak Autodesk Inventor 2018 dan untuk pengambilan data dengan metode Computational Fluid Dynamics (CFD) digunakan perangkat lunak ANSYS FLUENT versi 18.2. Metode ini dapat membantu untuk melihat pola aliran pada turbin sehingga diketahui variasi yang seperti apakah yang menghasilkan koefisien daya terbaik. Tabel 1 menunjukkan spesifikasi turbin yang akan dirancang.

Tabel 1. Spesifikasi Turbin

Parameter	Nilai/Tipe
Geometri Bilah Turbin	NACA 0018
Diameter T. Darrieus	428 mm
Jumlah Bilah T. Darrieus	3
Panjang Chord	40 mm
Diameter T. Savonius	300 mm
Panjang Span	357 mm
Jumlah Bilah T.Savonius	2

Dimensi keseluruhan dan geometri hydrofoil turbin merupakan faktor-faktor yang menentukan besarnya daya yang dihasilkan untuk dibangkitkan oleh pembangkit listrik tenaga arus laut. Tingkat efisiensi turbin dipengaruhi oleh tingkat keoptimalan dari desain turbin. Berikut adalah variasi turbin Savonius-Darrieus yang divariasikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Variasi Model Turbin

Parameter	Nilai
Sudut Serang Bilah T.Darrieus	0°, 5°, 10°
TSR	1,427; 2,853; 4,28; 5; 5,7

Hasil Pemodelan desain turbin kemudian dianalisa dengan bantuan perangkat lunak ANSYS FLUENT untuk pengambilan data nilai torsi turbin dari nilai TSR 1,427; 2,853; 4,28; 5; dan 5,7 . Pengambilan data torsi diambil berdasarkan data dari perangkat lunak simulasi yang diambil pada waktu yang merepresentasikan derajat posisi tertentu dan dilakukan sampai turbin berputar setengah putaran. Cara pengambilan data ini dilakukan untuk mendapatkan torsi secara keseluruhan yang dihasilkan turbin.

Setelah pengambilan data nilai torsi sudah tercapai, dilakukan perhitungan koefisien daya dari masing-masing TSR untuk mencari variasi manakah yang menghasilkan koefisien daya terbaik. Turbin Savonius-Darrieus yang diuji adalah turbin yang divariasikan pada sudut serang hydrofoil NACA 0018. Perhitungan koefisien daya dirujuk pada Persamaan 1.[5]

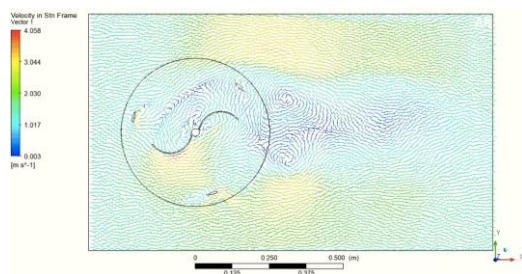
$$C_{power} = \frac{T\omega}{\frac{1}{2}\rho Av^3} \quad (1)$$

Koefisien daya menentukan berapa daya yang dihasilkan pada kecepatan arus laut tertentu. Setelah didapatkan koefisien daya tertinggi dari ketiga variasi, ditentukan variasi manakah yang dipakai untuk pembangkit listrik tenaga arus laut. Perhitungan daya dilakukan berdasarkan hasil koefisien daya tertinggi dengan kecepatan dari arus tertentu.

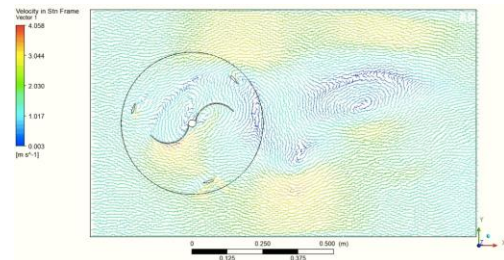
Hasil dan Pembahasan

Setelah proses simulasi selesai, kemudian data-data berupa solusi aliran fluida diolah menggunakan ANSYS results. Adapun parameter yang diambil pada simulasi ini adalah plot distribusi kecepatan untuk mengetahui pola aliran pada sekitar turbin, kemudian plot distribusi tekanan untuk mengetahui distribusi tekanan yang menghasilkan maupun yang mengurangi torsi pada sekitar turbin serta data-data berupa torsi pada setiap detik simulasi untuk mengukur performa masing-masing konfigurasi turbin secara kuantitatif.

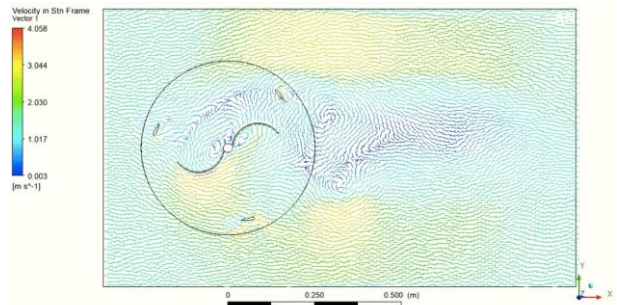
Dari distribusi kecepatan, dapat diamati bahwa pola aliran pada daerah rotor Savonius cekung memiliki kecepatan yang relatif rendah ($\pm 1,017$ m/detik) terhadap bagian cembung. Kecepatan yang rendah menandakan daerah stagnasi atau daerah dengan tekanan yang tinggi (hukum bernoulli) yang menghasilkan dorongan yang searah dengan arah putaran. Kemudian, kecepatan yang tinggi pada daerah cembung ($\pm 3,044$ m/detik) menghasilkan tekanan yang rendah/suction pada daerah tersebut sehingga menghasilkan torsi yang searah dengan arah putaran. Gambar pola aliran distribusi kecepatan dapat dilihat pada Gambar 1, 2, dan 3.



Gambar 1. Distribusi Kecepatan pada Geometri dengan Sudut Serang 0°

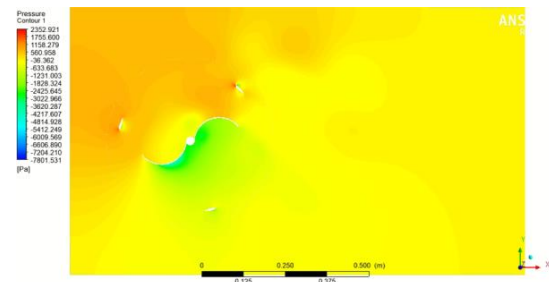


Gambar 2. Distribusi Kecepatan pada Geometri dengan Sudut Serang 5°

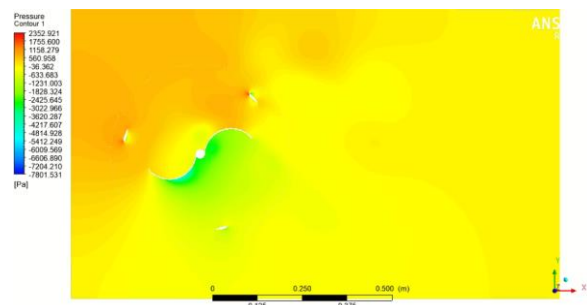


Gambar 3. Distribusi Kecepatan pada Geometri dengan Sudut Serang 10°

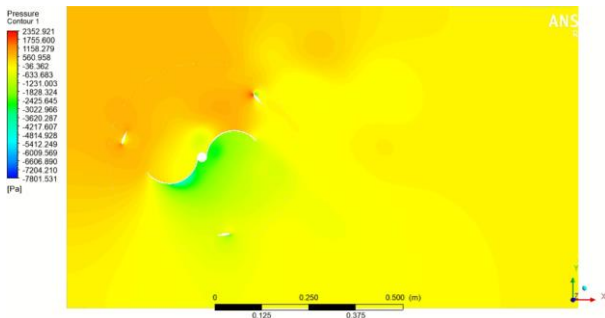
Pola distribusi tekanan pada Gambar 4.4, 4.5, dan 4.6 memperjelas fenomena stagnasi seperti yang dijelaskan pada penjelasan distribusi kecepatan. Pada daerah rotor savonius bagian cekung, cenderung terdapat tekanan yang relatif lebih tinggi ($\pm 560,968$ Pa) yang mendorong bilah untuk berputar searah rotasi. Pada daerah NACA 0018 di bagian bawah terdapat tekanan yang relatif tinggi ($\pm 2352,91$ Pa) yang juga berkontribusi dalam menghasilkan tambahan torsi.



Gambar 4. Distribusi Tekanan pada Geometri dengan Sudut Serang 0°

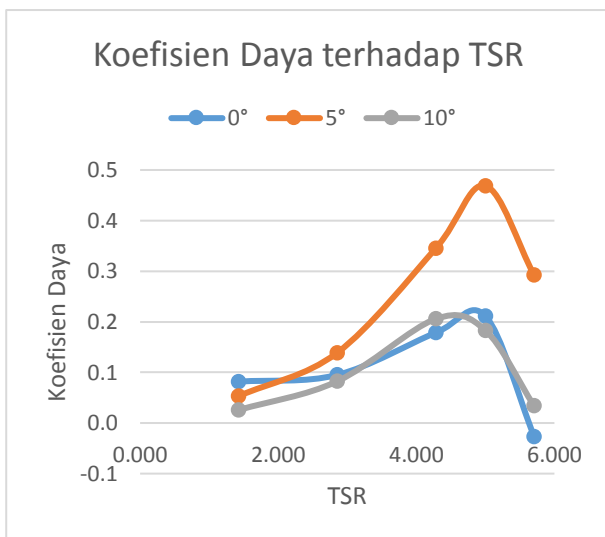


Gambar 5. Distribusi Tekanan pada Geometri dengan Sudut Serang 5°



Gambar 6. Distribusi Tekanan pada Geometri dengan Sudut Serang 10°

Dari hasil perhitungan koefisien daya, didapat hasil efisiensi yang paling optimum pada geometri dengan sudut serang 5° pada nilai TSR sama dengan 3,5. Sedangkan Turbin dengan koefisien daya terkecil dimiliki oleh geometri turbin dengan sudut serang 10° senilai 0,206 pada nilai TSR 4,280. Perbandingan hasil dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik TSR terhadap Koefisien Daya dari Sudut Serang 0° , 5° dan 10°

Pada geometri turbin dengan sudut serang 0° , koefisien daya yang paling optimum diperoleh nilai 0,211 saat nilai TSR 5. Turbin ini berkontribusi pada keluaran daya disaat derajat posisinya $\pm 90^\circ$ - $\pm 270^\circ$ dan pada saat $\pm 0^\circ$.

Nilai koefisien daya dari geometri turbin dengan sudut serang 5° , koefisien daya yang paling optimum diperoleh nilai 0,469 pada saat nilai TSR sama dengan 5. Kontribusi daya turbin terwujud pada keluaran daya disaat derajat posisinya $\pm 90^\circ$ sampai dengan $\pm 270^\circ$ dan pada saat $\pm 315^\circ$ sampai dengan 45° .

Geometri Turbin dengan sudut serang 5° memiliki koefisien daya maksimum hampir dua kali lipat dibandingkan dengan geometri dengan sudut serang 0° . Hal ini menunjukkan penambahan

sudut hydrofoil dapat meningkatkan efisiensi turbin.

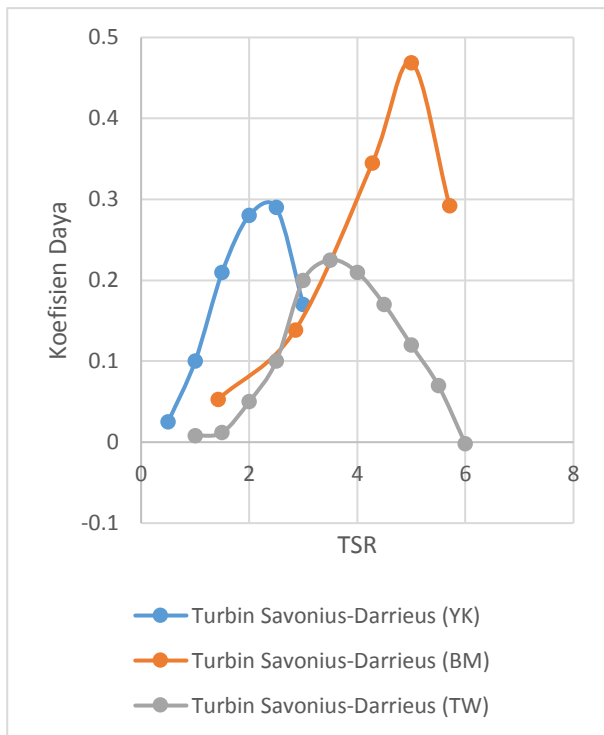
Ketika sudut serang dinaikkan menjadi 10° , nilai CP nya justru berkurang dibandingkan dengan sudut 5° . Hal ini dapat terjadi karena dua kemungkinan, yaitu orientasi hydrofoil pada sudut tersebut tidak berkontribusi terhadap penambahan torsi atau terjadinya stall pada sudut tersebut sehingga gaya angkatnya lebih kecil dari gaya hambatnya yang berarti justru konfigurasi tersebut tidak berkontribusi terhadap nilai torsi.

Hasil dari perhitungan koefisien daya pada geometri dengan sudut serang 10° menyimpulkan bahwa tidak selamanya menaikkan nilai sudut pada derajat sudut serang berbanding lurus dengan kenaikan koefisien daya yang dihasilkan oleh turbin. Gaya angkat dan gaya hambat dari hydrofoil berpengaruh terhadap kontribusi pertambahan koefisien daya dari turbin. Gaya hambat yang lebih besar dari gaya angkat menimbulkan stall pada hydrofoil sehingga tidak berkontribusi terhadap penambahan torsi dari turbin yang berpengaruh terhadap tingkat koefisien daya yang dihasilkan.

Setelah dilakukan pengambilan data torsi dan perhitungan koefisien daya dari ketiga variasi sudut serang (0° , 5° , dan 10°), dapat disimpulkan derajat sudut serang yang dipakai untuk pembangkit listrik tenaga arus laut yaitu geometri dengan sudut serang 5° . Pengambilan data torsi pada geometri dengan sudut serang lebih dari 10° tidak dilakukan karena hasil yang diperoleh tidak akan lebih baik dari geometri turbin dengan sudut serang 5° . Penurunan performa dari geometri dengan sudut serang 10° dibandingkan dengan geometri dengan sudut serang 5° menjadi pertimbangan dari tidak dilakukan pengambilan data untuk geometri turbin dengan sudut serang diatas 10° .

Verifikasi Hasil Pemodelan

Metode Computational Fluid Dynamics (CFD) pada penelitian ini tentunya harus diverifikasi untuk menguji keabsahan metode CFD yang dilakukan. Verifikasi dilakukan dengan membandingkan karakteristik trendline dari grafik koefisien daya Turbin Savonius-Darrieus dari hasil pemodelan dengan grafik koefisien daya hasil pengujian Turbin Savonius-Darrieus secara eksperimental milik Kyozyuka, 2008 [2] dan Turbin Savonius-Darrieus milik Wakui, 2005 [6]. Grafik perbandingan hasil disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Perbandingan Hasil Pemodelan dengan Hasil Eksperimental

BM: Boris Metheny (Hasil Pemodelan)

YK: Yusaku Kyojuka (Hasil Eksperimental)

TW: Tetsuya Wakui (Hasil Eksperimental)

Dari grafik pada Gambar 8, hasil pemodelan dari Turbin Savonius-Darrieus pada penelitian ini menunjukkan tren yang sama terhadap hasil pengujian secara eksperimental dari kedua turbin. Performa yang berbeda dari ketiga turbin dikarenakan adanya perbedaan dimensi dari ketiga turbin tersebut.

Spesifikasi ketiga turbin yang berbeda menjadi alasan adanya perbedaan hasil perhitungan koefisien daya pada ketiga turbin tersebut. Dari sudut pandang Rotor Darrieus, nilai soliditas yang lebih tinggi membuat turbin menghasilkan koefisien daya optimum pada nilai TSR yang lebih tinggi. Nilai soliditas dipengaruhi oleh jumlah sudu, panjang chord, dan radius dari rotor.

Sedangkan dari sudut pandang Rotor Savonius, perbedaan dimensi diameter rotor dan tinggi rotor mempengaruhi karakter awal dari keluaran daya turbin. Rotor Savonius dengan luas penampang yang lebih besar membuat turbin menghasilkan koefisien daya yang lebih besar pada saat nilai TSR yang lebih awal. Luas penampang rotor dipengaruhi dengan diameter rotor yang dikalikan dengan tinggi rotor.

Kesimpulan

Setelah disimulasikan dengan berbagai variasi TSR, didapat nilai koefisien daya maksimum pada TSR sama dengan 5 untuk variasi geometri dengan sudut serang 0° dan 5° , dan TSR sama dengan 4,28 untuk variasi geometri dengan sudut serang 10° .

Koefisien daya maksimum senilai 0,469 terdapat pada geometri turbin dengan sudut serang 5° pada nilai TSR sama dengan 5, hal ini menunjukkan bahwa performa turbin meningkat ketika ada penambahan nilai sudut serang dibandingkan dengan koefisien daya maksimum pada geometri dengan sudut serang 0° senilai 0,211 pada TSR sama dengan 4,28 yang kenaikannya hampir dua kali lipat.

Koefisien daya pada geometri turbin dengan sudut serang 10° senilai 0,206 pada nilai TSR sama dengan 4,28 ternyata tidak lebih baik dari 5° , hal ini memungkinkan terjadinya *stall* pada *hydrofoil* sehingga tidak berkontribusi terhadap penambahan torsi dari turbin keseluruhan.

Dari hasil pemodelan, dasar perancangan yang dapat dipakai untuk perancangan turbin ini adalah Geometri Turbin dengan sudut serang 5° dengan nilai TSR sama dengan 5. Nilai TSR tersebut berpengaruh terhadap nilai kecepatan sudut yang dipakai menyesuaikan dengan kecepatan aliran yang dihadapi turbin. Untuk kecepatan arus laut 1 m/detik – 2 m/detik diperoleh daya maksimum sebesar 158,5 Watt hingga 1268 Watt.

Untuk verifikasi nilai kecepatan sudut turbin, diperlukan pengujian secara eksperimental dengan mengacu kepada nilai TSR pada penelitian ini. Diharapkan hasil dari pemodelan dapat menjadi acuan sehingga kecepatan sudut hasil rancangan dengan kecepatan sudut aktual dapat disesuaikan dengan menggunakan roda gigi yang akan dirancang pada penelitian selanjutnya.

Perbedaan antara nilai TSR Turbin Savonius dengan Turbin Darrieus menyebabkan turbin kombinasi ini sudah mengalami penurunan performa pada nilai TSR lebih dari 5. Dengan demikian, diperlukan roda gigi dengan sistem ratchet pada kedua turbin agar *hydrofoil* dapat berkontribusi lebih pada TSR yang lebih tinggi.

Untuk pengembangan selanjutnya, sudu Turbin Savonius dapat divariasikan di bucket spacing. Diharapkan dari pengembangan ini bisa diperoleh hasil yang lebih optimal.

Penghargaan

Saya, Boris Metheny sebagai pemakalah ingin menyatakan ucapan terima kasih kepada Ibu Rosyida Permatasari, Ph.D. dan Bapak Dr. Ir. M.

Sjahrul Annas, M.T yang sangat berperan dalam penyusunan makalah dan penelitian saya. Selain itu, saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti atas dukungannya menyangkut wadah dalam penelitian saya sampai akhirnya masuk prosiding SNTTM tahun 2019 ini.

Referensi

- [1] A. Yuningsih, “Potensi Arus Laut untuk Pembangkit Energi Baru Terbarukan di Selat Pantar, Nusa Tenggara Timur,” *Maj. Miner. dan Energi, Kementerian. ESDM*, vol. 9, no. 1, hal. 61–72, 2011.
- [2] Y. KYOZUKA, “An Experimental Study on the Darrieus-Savonius Turbine for the Tidal Current Power Generation,” *J. Fluid Sci. Technol.*, vol. 3, no. 3, hal. 439–449, 2008.
- [3] I. Sadrehighi, “Turbulence modeling -a review,” no. July, 2018.
- [4] W. A. Prayoga dan R. Permatasari, “Perancangan dan Pemodelan Turbin Darrieus untuk Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL),” *Mesin*, vol. 10, no. 1, hal. 5–10, 2019.
- [5] K. R. Malau, U. Budiarto, dan E. S. Hadi, “Desain Dan Analisa Turbin Tipe H-Rotor Guna Meningkatkan Output Daya Listrik Pada Perencanaan Pembangunan PLTAL Di Selat Pantar,” *Kapal*, vol. 15, no. 1, hal. 24, 2018.
- [6] T. Wakui, Y. Tanzawa, T. Hashizume, dan T. Nagao, “Hybrid configuration of darrieus and savonius rotors for stand-alone wind turbine-generator systems,” *Electr. Eng. Japan (English Transl. Denki Gakkai Ronbunshi)*, vol. 150, no. 4, hal. 13–22, 2005.