

Analisis tekanan dan laju aliran fluida di sekitar baling-baling Savonius dengan Computational Fluid Dynamics

Farzand Abdullatif*, Hartono, dan Sugito

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman

Jln. Dr. Soeparno 61, Grendeng, Purwokerto, Indonesia, 53122

*email: farzand@unsoed.ac.id

Abstrak – Bagian terdepan dari sistem konversi energi angin terletak pada baling-baling atau kincir angin. Pada dasarnya terdapat dua jenis baling-baling yaitu Horizontal Axis Wind Turbin (HAWT) dan Vertikal Axis Wind Turbin (VAWT). Setiap jenis mempunyai kelebihan dan kekurangannya. Jenis baling-baling vertikal yang cukup banyak digunakan adalah jenis VAWT Savonius. Salah satu kekurangan jenis Savonius adalah efisiensinya yang rendah. Rendahnya efisiensi dimungkinkan karena desain yang kurang sesuai dengan potensi angin yang ada. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan analisis aerodinamika aliran udara melalui baling-baling Savonius. Analisis akan menggunakan metode CFD (computational fluid dynamics) untuk memperoleh kinerja berupa koefisien daya yang dihasilkan baling-baling Savonius. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ada resultan tekanan pada satu sisi bilah sehingga menimbulkan momen yang memutar baling-baling. Garis alir menunjukkan bahwa kecepatan udara sebelum mengenai baling-baling lebih besar daripada setelah melewati baling-baling. Hasil simulasi menunjukkan bahwa angin masuk dengan kecepatan 1,2 m/s dan keluar dari baling-baling dengan kecepatan 0,6 m/s. Berdasarkan hal itu diperoleh koefisien daya baling-baling sebesar 25%.

Kata kunci: Kincir Savonius, dimensi optimum, computational fluid dynamics

Abstract – The foremost part of a wind energy conversion system is a turbine. There are typically two kinds of turbine, the horizontal axis wind turbines (HAWT) and the vertical axis wind turbines (VAWT). Each type of the turbines has its own advantages and disadvantages. A widely used type of VAWT is the Savonius turbine. The weakness of this type of turbine is its low efficiency, which may be attributed to inappropriateness of its design to its ambient wind average velocity. For that reason, this work was conducted to analyze the aerodynamics of airflow passing a Savonius blade. The analysis was carried out using computational fluid dynamics (CFD) method to find the power coefficient generated by a Savonius turbine. The result shows a difference of pressure between two sides of the blade, resulting a moment of force that cause the turbine to rotate. Streamlines indicates inflow velocity is higher than the outflow velocity from the turbine. Simulation shows that the inflow velocity is 1.2 m/s while the outflow velocity is 0.6 m/s, which accordingly yield a power coefficient of 25%.

Key words: Savonius turbine, optimal dimension, computational fluid dynamics

PENDAHULUAN

Pengembangan berbagai sistem konversi energi telah banyak dilakukan guna memenuhi kebutuhan energi alternatif[1]. Energi angin merupakan salah satu energi terbarukan yang dapat dikembangkan sebagai salah satu energi alternatif. Pengembangan energi angin dapat diawali dengan membuat simulasi dan pemodelan[2]. Salah satu bagian yang perlu dikembangkan adalah bagian kincir angin. Kincir merupakan bagian yang berfungsi mengkonversi energi kinetik angin menjadi energi mekanik. Berdasarkan jenisnya kincir dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu sumbu horisontal dan sumbu vertikal[3].

Energi angin merupakan energi terbarukan yang dapat dikonversi menjadi berbagai bentuk

energi yang lain. Kunci utama konversi energi angin terletak pada sistem baling-baling. Optimasi terhadap desain baling-baling sangat berpengaruh terhadap efisiensinya. Diharapkan dengan optimasi yang akan dilakukan akan diperoleh sebuah formulasi yang dapat digunakan untuk merancang bangun baling-baling jenis Savonius yang optimal. Dimensi baling-baling juga dapat disesuaikan dengan potensi angin setiap wilayah. Permasalahan yang berhubungan dengan hal tersebut adalah bagaimana upaya peningkatan efisiensi konversi energi angin dengan baling-baling Savonius dapat dilakukan

Baling-baling savonius dikenal sebagai baling-baling dengan rancangan yang sederhana[4]. Konversi energi angin menggunakan sistem baling-baling mempunyai

efisiensi yang masih rendah, yaitu berkisar 30 - 40 %. Optimasi baling-baling sumbu horisontal dengan Maximum Power Point Tracker dapat meningkatkan hingga 49,51% [5]. Baling-baling sumbu vertikal jenis Darrieus merupakan jenis lain dari media konversi energi angin. Optimasi Vertical Axis Wind Turbin (VAWT) jenis Darrieus dapat menghasilkan daya mencapai 1908 Wh yang dapat digunakan untuk penerangan jalan tol [6]. Pengembangan konversi energi angin telah dilakukan untuk sarana pompa air yang menggunakan kincir angin tipe savonius dua buah baling-baling [7,8].

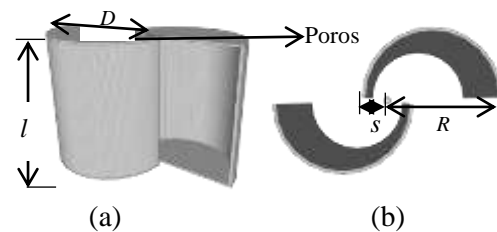
Beberapa riset yang sudah dilakukan menyatakan bahwa masih diperlukan pengembangan terkait dengan konversi energi angin. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah melakukan optimasi baling-baling. Savonius merupakan jenis VAWT yang mempunyai kelebihan dapat menangkap angin dari segala arah. Dalam perancangan baling-baling Savonius, pembuatan baling-baling dengan dimensi yang tepat akan menghasilkan efisiensi yang lebih optimal. Upaya berikutnya yang dapat dilakukan adalah dengan menganalisis lebih lanjut dengan memperhitungkan bagaimana aliran udara (aerodinamika) melalui baling-baling. Kajian ini dapat dilakukan dengan computational fluid dynamics (CFD) [10]. Dalam pengembangan terakhir dilakukan pengkajian baling-baling savonius dengan bilah yang bisa mengalami deformasi [4]. Mereka menemukan bahwa bilah terdeformasi dapat menaikkan kinerja hingga 90%, yakni menghasilkan koefisien daya sebesar 39%. Pada penelitian ini kajian akan dilakukan terhadap baling-baling Savonius dengan bilah tetap yang dialiri angin dengan kecepatan rendah, 1,5 m/s [8].

METODE PENELITIAN

Rancangan geometri baling-baling

Formulasi dan simulasi komputasi merupakan tahapan inti dalam kegiatan penelitian ini. Hal pertama yang akan dilakukan pada tahapan ini adalah membuat rancangan baling-baling Savonius dengan berbagai jumlah bilah, berbagai ukuran dan berbagai macam bahan. Rancangan ini digunakan sebagai dasar dalam membuat formulasi. Pembuatan rancangan baling-baling dilakukan menggunakan bantuan drawing pad, sehingga

hasil rancangan dapat langsung diakses di dalam personal komputer atau laptop. Salah satu desain baling-baling yang akan dikaji seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Rancangan bilah kincir savonius, yang terdiri atas dua setengah silinder berongga. (a) Tampak samping, (b) tampak atas.

Geometri dilakukan dengan merancang baling-baling dengan ukuran diameter dan tinggi yang perbandingannya 1:1. Komputasi dilakukan dengan software CFD Ansys. Komputasi dimulai dengan membuat jala-jala komputasi di sekitar geometri baling-baling. Hal itu dilakukan secara otomatis oleh software. Berdasarkan jala-jala komputasi tersebut komputasi dilakukan untuk memperoleh parameter-parameter penting aliran angina yaitu, kecepatan dan tekanan. Dari hasil tersebut, dilakukan penghitungan koefisien daya. Koefisien daya dihitung berdasarkan rumusan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{P_{keluar}}{P_{masuk}} \quad (1)$$

P_{keluar} dan P_{masuk} masing-masing adalah daya angin saat mengenai baling-baling dan daya angin setelah melalui baling-baling. Karena daya berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan angin, maka persamaan koefisien daya dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$C_p = \frac{v_{keluar}^2}{v_{masuk}^2} \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi data resistivitas dilakukan pada bulan Rancangan Geometri

Untuk melakukan simulasi aliran udara melalui kincir, tahap pertama adalah menggambar geometri kincir di dalam program simulasi.

Hasil perancangan geometri pada program simulasi ANSYS diperlihatkan pada gambar 2.



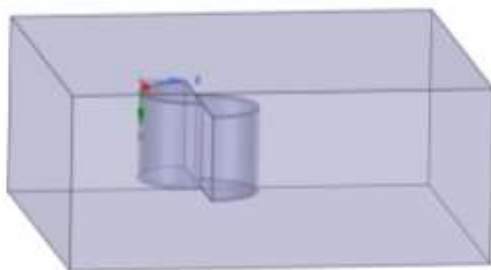
Gambar 2 Rancangan geometri kincir savonius dalam program simulasi ANSYS

Geometri kincir tersebut menjadi input dalam tahapan berikutnya pra komputasi yaitu pembuatan jala komputasi.

Pembuatan Jala Komputasi

Tahapan penting dalam komputasi dalam persamaan diferensial adalah pembuatan jala komputasi. Jala komputasi (*computational mesh*) merupakan landasan pendiskretan persamaan sehingga dapat dihitung dengan komputer. Dalam penjalaaan, domain kontinu fluida di sekitar benda yang diamati diubah menjadi bagian-bagian diskret berupa jala.

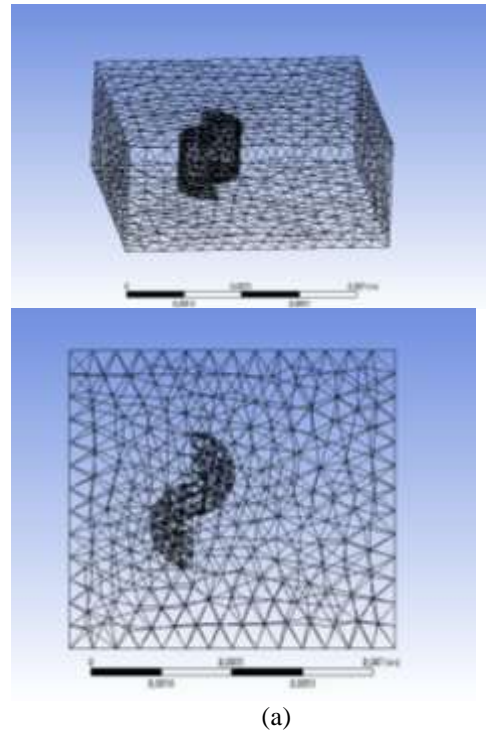
Sebelum penjalaaan dilakukan model domain udara di sekitar kincir perlu didefinisikan terlebih dahulu. Pembatasan dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak terlalu kecil sehingga tidak menggambarkan secara baik aliran udara di sekitar kincir namun tidak terlalu besar agar tidak membebani proses perhitungan. Pada gambar 4.3 diperlihatkan model udara di sekitar kincir Savonius.



Gambar 3 Model domain udara di sekitar kincir

Pada model tersebut udara di sekitar kincir dibatasi dalam geometri balok. Bagian kanan domain udara dibuat lebih panjang daripada bagian kiri untuk melihat kemungkinan adanya *wake* setelah melewati kincir.

Jala komputasi kemudian dihasilkan dengan mengeset agar tepat di sekitar bilah lebih rapat. Hal ini dimaksudkan agar jumlah elemen perhitungan di daerah itu lebih banyak sehingga detail di sekitar itu lebih terungkap. Jala komputasi hasil pendefinisian yang dibangkitkan oleh program diperlihatkan pada gambar 4.



Gambar 4 Jala komputasi sebagai landasan pendiskretan persamaan untuk melakukan komputasi. (a) dalam 3 dimensi, (b) tampak atas.

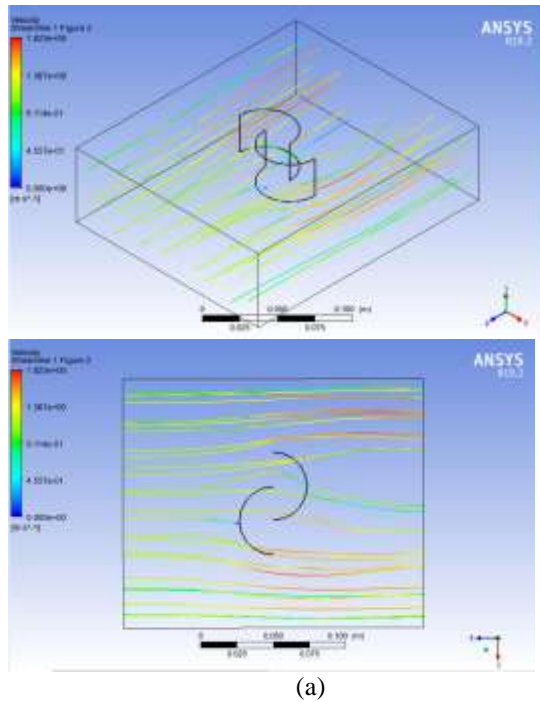
Meskipun pada gambar terlihat jarang, ukuran elemen-elemen jala sebenarnya sangat kecil, sampai orde 0,001 mm sehingga hasil perhitungan di setiap elemen jala praktis akan kontinu.

Hasil Komputasi

Berdasarkan pendiskretan dengan jala yang telah dibangkitkan, Persamaan Navier-Stokes dipecahkan di setiap elemen jala. Berikut ini akan dibahas hasil pemodelan aliran angin dan tekanan angin di sekitar kincir. Sebelum penghitungan variabel-variabel fisis yang dikehendaki terkait kincir yang berputar ketika dihembus angin, model komputasi diuji terlebih dahulu. Pengujian dilakukan dengan melihat hasil saat angin melewati kincir tanpa perputaran kincir dan saat kincir berputar tanpa dihembus angin.

Garis alir angin

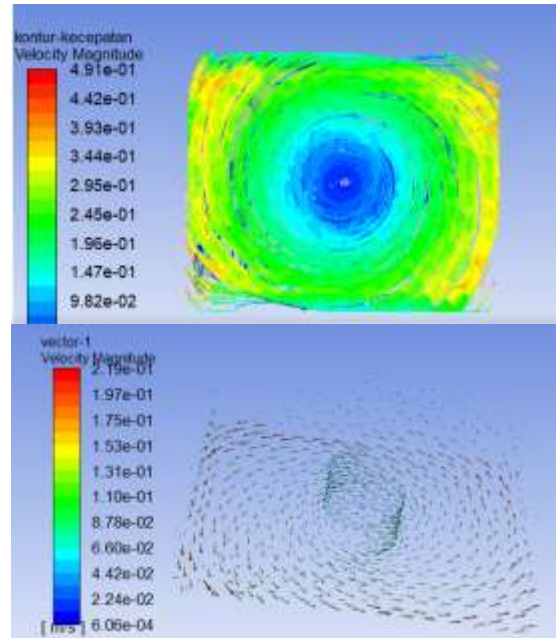
Model diuji coba dengan mengalirkan angin dengan laju 1,2 m/s (sekitar 4 km/jam). Garis alir angin itu diperlihatkan pada gambar 5.



Gambar 5 Garis alir angin melewati kincir saat bilah tidak berputar (a) tiga dimensi, (b) tampak atas

Terlihat bahwa di sebelah kiri kincir garis alir lurus dan berbelok saat melewati kincir. Garis-garis alir sebelum melewati kincir lebih rapat daripada setelah melewati kincir. Hal ini menunjukkan bahwa laju aliran angin melambat setelah melewati kincir. Hal ini wajar karena sebagian energi angin diberikan kepada kincir. Hal ini ekuivalen dengan tekanan yang mengakibatkan kincir berputar. Kontur tekanan akan dibahas pada sub-subbab berikutnya.

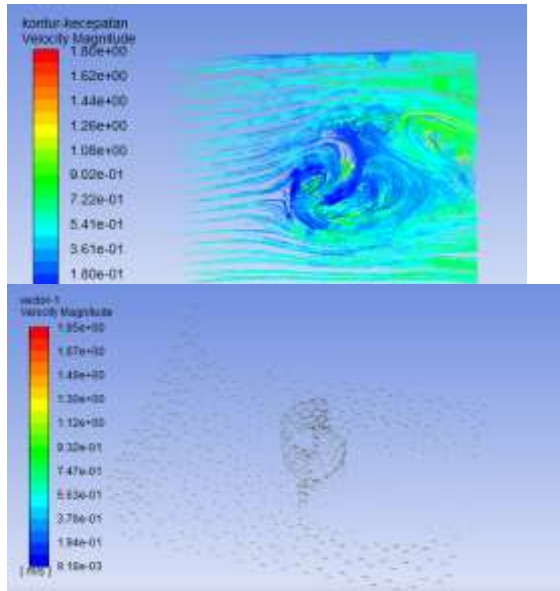
Untuk menguji apakah model secara benar menunjukkan kondisi udara saat kincir berputar, dalam model komputasi domain udara dibuat berotasi dengan kecepatan sudut sembarang. Dalam model ini diset perputaran dengan kecepatan sudut $\omega = 4 \text{ rad/s}$.



Gambar 6 Dekripsi aliran udara di sekitar bilah yang berputar dengan kecepatan sudut 4 rad/s. (a) dalam bentuk kontur kecepatan, (b) dalam bentuk vector kecepatan

Pada gambar 6 diperlihatkan bagaimana aliran udara di sekitar kincir. Gambar (a) menunjukkan kontur kecepatan udara dengan gradasi warna dari biru hingga merah. Hasil menunjukkan kewajaran dengan terlihatnya pusaran angin dengan kecepatan semakin besar semakin menjauh dari kincir. Arah perputaran angin diperlihatkan lebih jelas dengan medan vektor kecepatan pada gambar (b).

Kincir akan berputar apabila dikenai angin. Perputaran kincir tersebut juga akan berpengaruh balik terhadap aliran angin di sekitar kincir. Aliran angin melewati kincir yang berputar diperlihatkan pada gambar 6.



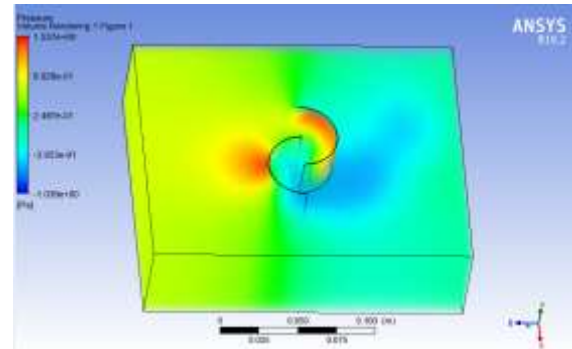
(a)

Gambar 7 (a) Tampak katas kontur kecepatan angin di sekitar bilah yang berputar. (b) Vektor kecepatan angin di sekitar bilah berputar

Saat angin melewati bilah yang berputar, aliran angin terpengaruh sehingga relatif terhadap kincir, lajunya membesar. Bila lajunya melebihi bilangan Reynolds tertentu, aliran akan mengalami turbulensi. Gambar 7(a) memperlihatkan adanya pusaran aliran di belakang kincir yang menandakan adanya turbulensi. Adanya turbulensi ini dapat mengakibatkan *drag* yang mengambat perputaran kincir.

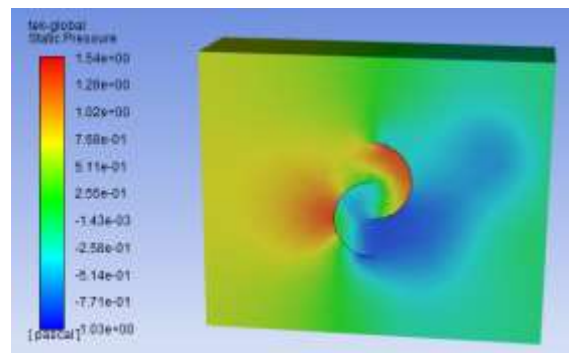
Tekanan terhadap bilah

Telah disinggung pada sub-subbab berikutnya bahwa turunnya laju aliran di belakang kincir menandakan adanya penurunan tekanan udara. Kontur tekanan udara di sekitar bilah kincir saat udara mengalir melewatinya diperlihatkan pada gambar 8. Gradasi warna dari biru ke merah menandakan tekanan kecil hingga tekanan besar.



Gambar 8 Kontur tekanan angin di sekitar bilah tanpa putaran kincir

Pada kedua kedua sisi bilah tampak ada perbedaan tekanan, sebelah kiri bertekanan lebih besar daripada sebelah kanan. Hal ini ditandai dengan warna merah di sebelah kiri. Wilayah merah di bilah belahan atas yang lebih luas daripada (b) bagian bawah menandakan bahwa gaya pada bilah bagian atas lebih besar daripada bagian bawah. Oleh karena itu, secara netto akan ada torsi yang memutar, dengan arah searah jarum jam. Akibat torsi ini, kincir pun akan berputar.



Gambar 9 Kontur tekanan bilah saat bilah berputar ketika dialiri angin

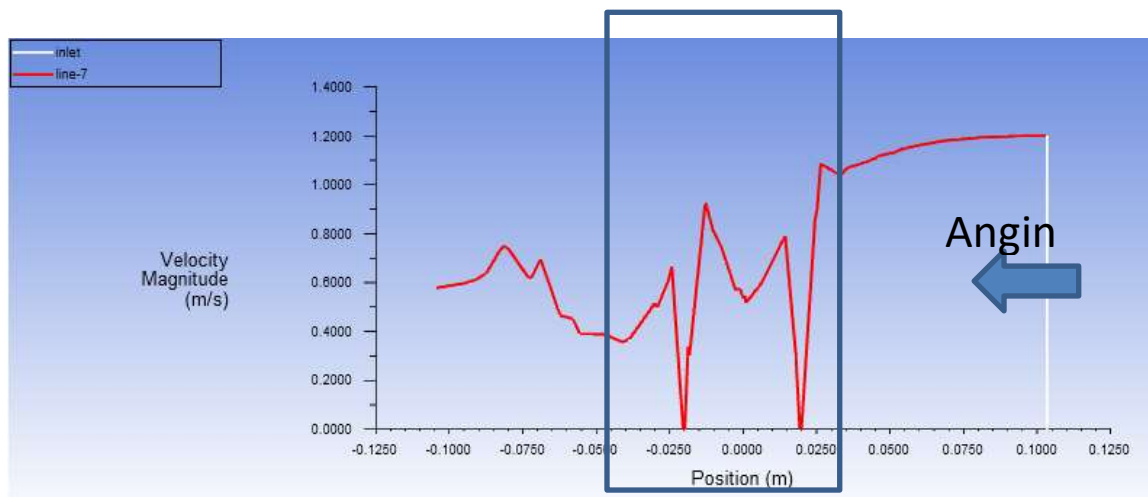
Setelah bilah berputar, sebaran tekanan terhadap bagian-bagian bilah termodifikasi. Bagian bilah bagian bawah yang dikenai tekanan tinggi meluas. Sebagai akibatnya gaya terhadap bilah belahan bawah membesar. Sementara itu, seperti yang diperlihatkan pada gambar 9, belahan atas mengalami peluasan wilayah tekanan tinggi pula. Dengan demikian, torsi netto terhadap bilah tetap bernilai positif meskipun nilai torsinya mengecil.

Koefisien daya

Untuk menghitung koefisien daya, diperlukan kecepatan aliran sebelum dan setelah melewati baling-baling. Gambar 10 memperlihatkan laju aliran angin sebelum dan sesudah melewati

baling-baling. Dalam gambar tersebut angin digambarkan masuk dari kiri ke kanan. Laju angin sebelum masuk diperlihatkan sebesar 1,2 m/s dan keluar dengan laju sebesar, 0,6 m/s. Pengukuran tersebut menunjukkan bahwa ada energi yang diserap oleh baling-baling untuk berputar. Dengan menggunakan persamaan (2) diperoleh bahwa koefisien daya C_p adalah 25%. Nilai ini tidak berbeda jauh dengan simulasi yang dilakukan oleh Sobczak yang memperoleh koefisien daya sebesar 30%. Akan tetapi, nilai hasil simulasi pada penelitian ini maupun oleh Sobczak berbeda dengan hasil eksperimen yang

memperoleh nilai 16,5 % [11]. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa simulasi masih belum cukup memperhitungkan faktor-faktor real dalam eksperimen. Faktor tersebut adalah dalam hal mekanika perputaran baling-baling yang juga akan dipengaruhi oleh gesekan poros dengan tiang penyangga. Simulasi dalam CFD tidak memodelkan hal tersebut. Oleh karena itu, hasil simulasi CFD ini harus dipadukan dengan model mekanika. Hal ini akan dilakukan pada penelitian lanjutan.



Gambar 10 Laju aliran angin sebelum dan sesudah melewati kincir. Kincir berada dalam posisi yang dinyatakan dalam kotak. Angin bergerak dari arah kanan.

KESIMPULAN

Telah dilakukan simulasi aliran angin yang mengenai baling-baling Savonius. Angin melalui baling-baling dengan laju 1,2 m/s dan keluar dengan laju 0,6 m/s. Berdasarkan hal tersebut diperoleh koefisien daya sebesar 25%. Nilai tersebut hampir dua kali lipat lebih besar daripada nilai hasil eksperimen. Hal tersebut menunjukkan bahwa simulasi CFD saja belum cukup untuk memodelkan mekanisme baling-baling CFD secara lengkap. Untuk hal itu masih perlu dilakukan komputasi yang berkaitan dengan mekanika putaran baling-baling.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada pihak-pihak yang sudah membantu terlaksananya penelitian ini. Kepada Unsoed yang telah mendanai penelitian melalui dana Riset Dasar Unsoed dengan nomor kontrak T/715/UN23.18/PT.01..03/2021. Penulis juga

mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Komputasi dan Medik Jurusan Fisika FMIPA Unsoed yang sudah menyediakan fasilitas untuk penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Najib Habibie, Achmad Sasmito, Roni Kurniawan, 2011, "Kajian Potensi Energi Angin di Wilayah Sulawesi dan Maluku", *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* . 12(2) 181-187.
- [2] Mohanty, B. B., "Doubly-Fed Induction Generator for Variable Speed Wind Energy Conversion System -Modeling Simulation", *International Journal of Computer and Electrical Engineering* 2(1) (2010) 1793-8163.
- [3] Mittal, R. S., "An Overview of Some Important Issues Related to Wind Energy Conversion System (WECS)", *International Journal of Environmental*

- Science and Development* 1(4) (2010) 344-355.
- [4] Sobczak, K., Obidowski, D., Reorowics P., Marchewka, E., “Numerical Investigations of the Savonius Turbine with Deformable Blades”, *Energies* 13(2020) 3717.
- [5] Nur Asyik Hidayatullah, Hanifah Nur Kumala Ningrum, “Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker”, *Journal of Electrical Electronic Control and Automotive Engineering (JEECAE)* 1(1) (2016) 7 - 12.
- [6] Ismail, Irlanda Pane, Triyanti, “Optimasi Perancangan Turbin Angin Vertikal Tipe Darries untuk Penerangan di Jalan Tol”, *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2017* (2017)
jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek
- [7] Kevin, P. “Analisis Potensi Kincir Angin Savonius sebagai Penggerak Pompa Submersibe”. Padang: Universitas Andalas, 2011.
- [8] Gedian, A., Yusup, A., & Septria, W., “Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut Menggunakan Sistem Turbin Savonius Termodifikasi”, *Berkala Fisika* 18(2) (2015) 75-82.
- [9] Permana I.T., R. B., “Pengembangan Model Kincir Angin Jenis Savonius Dua Tingkat sebagai Alternatif Penggerak Pompa” (2011).
- [10] Mohamed, H.M., Janiga, G., Thevenin, D. “Optimal Design of A Savonius Turbine”, Conference on Modelling Fluid Flow: The 15th International Conference on Fluid Flow Technology, 2012
- [11] M.A. Kamoji , S.B. Kedare , S.V. Prabhu, in: Performance tests on helical Savonius rotors, 34, *Renewable Energy*, 2009, pp. 521–529.