

Analisis pengaruh sudut blade L terhadap performa turbin angin savonius-darrieus menggunakan *computational fluida dynamic* (CFD)

Bagus Kurniasandy

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Semarang
Jl. Sidodadi Timur, Karangtempel, Kec. Semarang Timur, Semarang 50232
Email korespondensi: baguskurniasandy2018@gmail.com

Abstrak

Turbin Savonius-Darrieus merupakan salah satu turbin angin sumbu vertikal yang memiliki poros yang disusun tegak lurus sejajar dengan arah angin, sehingga mampu menerima angin dari segala arah. Kajian ini dilakukan dengan memodifikasi sudut blade berbentuk lengkung L dengan variasi sudut kelengkungan blade turbin sebanyak 3 variasi sudut, yaitu masing-masing 10° , 20° , dan 30° , serta menyimulasikan turbin angin menggunakan metode CFD (Computational Fluid Dynamics) dengan variabel kecepatan angin 2 m/s, 2,1 m/s, 2,4 m/s, dan 2,5 m/s. Grafik hubungan kecepatan angin terhadap maximum velocity, dan grafik hubungan antara kecepatan angin terhadap maximum pressure dapat diketahui bahwa turbin angin sudut blade 30° memiliki nilai maximum velocity tertinggi dengan nilai 4.387 m/s^{-1} pada kecepatan angin 2,5 m/s. Turbin angin sudut blade 20° memiliki nilai maximum velocity tertinggi dengan nilai 4.288 m/s^{-1} pada kecepatan angin 2,5 m/s. Turbin angin sudut blade 10° memiliki nilai maximum velocity tertinggi dengan nilai 4.280 m/s^{-1} pada kecepatan angin 2,5 m/s. Turbin angin sudut blade 30° memiliki nilai maximum pressure tertinggi dengan nilai 4,111 Pa pada kecepatan angin 2,5 m/s. Turbin angin sudut blade 20° memiliki nilai maximum pressure tertinggi dengan nilai 4,795 Pa pada kecepatan angin 2,5 m/s. Turbin angin sudut blade 10° memiliki nilai maximum pressure tertinggi dengan nilai 4,105 Pa pada kecepatan angin 2,5 m/s.

Kata kunci: turbin angin sumbu vertikal, CFD, sudut blade.

Abstract

The Savonius-Darrieus turbine is a vertical axis wind turbine which has a shaft arranged perpendicularly parallel to the wind direction, so that it can receive wind from all directions. This research was conducted by modifying the L-shaped blade angle with variations in the angle of curvature of the turbine blade as many as 3 angle variations, namely 10° , 20° , and 30° respectively, also simulating wind turbines using the CFD (Computational Fluid Dynamics) method with a variable wind speed of 2 m/s, 2.1 m/s, 2.4 m/s, and 2.5 m/s. From the graph of the relationship between wind speed and maximum velocity, and the graph of the relationship between wind speed and maximum pressure, it can be seen that a 30° blade angle wind turbine has the highest maximum velocity value with a value of $4,387 \text{ m/s}^{-1}$ at a wind speed of 2.5 m/s. A 20° blade angle wind turbine has the highest max velocity value with a value of $4,288 \text{ m/s}^{-1}$ at a wind speed of 2.5 m/s. A 10° blade angle wind turbine has the highest maximum velocity value with a value of $4,280 \text{ m/s}^{-1}$ at a wind speed of 2.5 m/s. The 30° blade angle wind turbine has the highest maximum pressure value with a value of 4.111 Pa at a wind speed of 2.5 m/s. A blade angle wind turbine of 20° has the highest maximum pressure value with a value of 4.795 Pa at a wind speed of 2.5 m/s. The 10° blade angle wind turbine has the highest maximum pressure value with a value of 4.105 Pa at a wind speed of 2.5 m/s.

Keywords: vertical axis wind turbine, CFD, blade angle.

1. Pendahuluan

Pemanfaatan energi khususnya energi alternatif semakin berkembang seiring waktu, mulai dari sistem yang sederhana hingga sistem yang memerlukan pengaturan yang sangat rumit dan tentunya energi alternatif yang terus berkembang pasti akan mengalami penipisan untuk sumber energinya, maka harus terdapat sumber energi yang diperbaharukan untuk mengatasi penipisan sumber energi tersebut, semakin menipisnya sumber energi yang tidak dapat terbaharukan (*non-renewable*), serta penggunaan bahan bakar yang berasal dari fosil yang mencemari lingkungan, memerlukan suatu jalan alternatif guna

mengganti sumber energi tersebut dengan sumber energi yang terbaharukan (*renewable*).

Sumber energi tak terbaharukan yang banyak digunakan saat ini adalah bahan bakar yang berasal dari fosil minyak bumi, gas alam, dan batu bara. Sayangnya jika energi ini habis, maka diperlukan sumber-sumber energi baru [1-5].

Demi mendapatkan nilai efisien yang maksimal, maka diperlukan simulasi aliran fluida pada turbin menggunakan *software* ANSYS untuk membantu mendapatkan nilai atau hasil kinerja pada turbin angin tersebut [6-9].

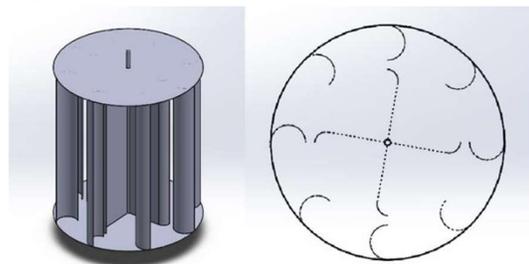
Hasil analisis numerik yang ditunjukkan dengan kontur kecepatan dan tekanan statis menunjukkan adanya *vortex* dan aliran resirkulasi pada ujung yang menyebabkan resistensi pada sudu [10]. Selain itu, ini menunjukkan aliran tarikan pada bilah yang maju dan tekanan pada sisi cembung dari bilah yang kembali. Simulasi juga menggunakan *software* yang dapat menghasilkan biaya yang lebih efektif dan evaluasi lebih cepat dari suatu desain tersebut berdasarkan latar belakang masalah di atas, desain dan simulasi aerodinamika kinerja turbin angin Savonius-Darrieus menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) [11-14].

2. Metode

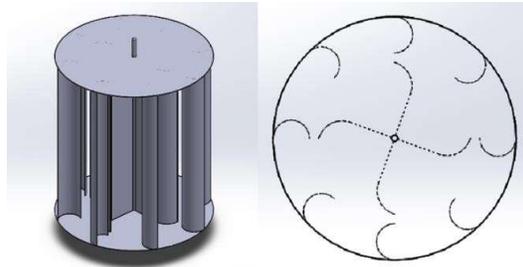
Kegiatan yang dilakukan dalam kajian ini meliputi perancangan turbin angin Savonius-Darrieus yang terdiri dari 8 buah sudu *blade* U luar dan 4 buah sudu *blade* L dalam, simulasi yang terdiri dari tiga variasi sudu *blade* L yaitu 100, 200, dan 300, variasi kecepatan angin 2 m/s, 2,1 m/s, 2,2 m/s, 2,4 m/s, dan 2,5 m/s beserta pengambilan data. Pengambilan data dilakukan dengan cara membandingkan putaran turbin dengan perhitungan teoretis turbin untuk setiap variasi kecepatan turbin [15,16].

Kajian ini akan dilakukan desain turbin angin menggunakan *software* SolidWorks 2020, setelah gambar turbin angin Savonius-Darrieus *blade* L telah didesain, selanjutnya akan diuji coba dengan menggunakan *software* CFD Fluent untuk mengetahui aliran fluida yang terjadi pada desain [17].

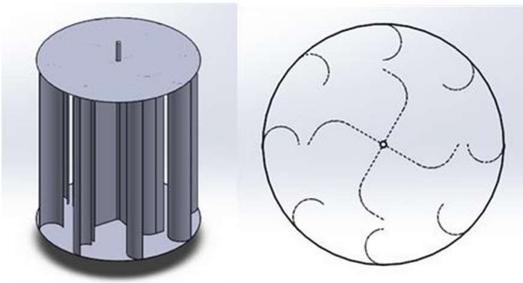
Desain kajian adalah rencana dan struktur penyelidikan yang dibuat sedemikian rupa, sehingga dapat diperoleh jawaban atas pertanyaan-pertanyaan dalam kajian, turbin angin dalam kajian ini merupakan jenis sumbu vertikal [18,19]. Gambar 1-Gambar 3 berikut menunjukkan desain turbin angin dibuat menggunakan *software* SolidWorks 2020 dengan 4 sudu *blade* L dalam dan 8 buah sudu *blade* U luar dengan variasi sudut *blade* 100, 200, dan 300, sedangkan Tabel 1 menunjukkan dimensi turbin angin.



Gambar 1. Desain turbin angin savonius blade L 10°.



Gambar 2. Desain turbin angin savonius blade L 20°.

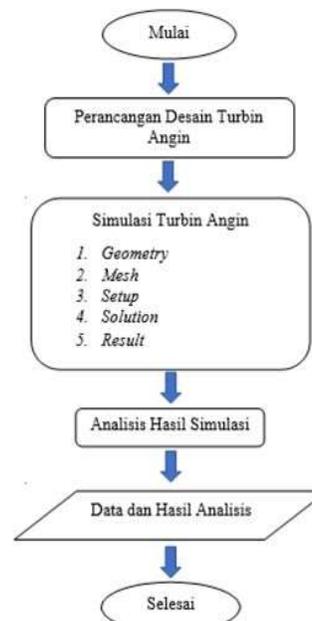


Gambar 3. Desain turbin angin savonius blade L 30°.

Tabel 1. Dimensi turbin angin.

Spesifikasi	Nilai
Diameter turbin angin	800 mm
Tinggi turbin angin	900 mm
Panjang <i>blade</i> dalam	260 mm
Panjang <i>blade</i> luar	120 mm
Diameter poros	20 mm
Panjang poros	1120 mm

Desain awal kajian ini dilakukan dengan berdasarkan diagram alir (*flow chart*) pembuatan alat pada Gambar 4 berikut.

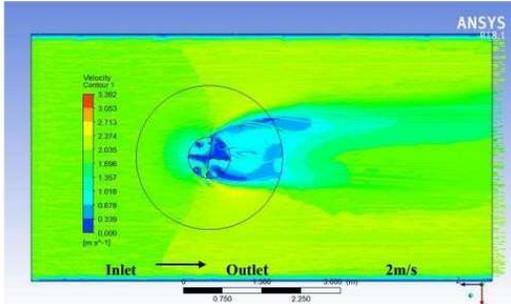


Gambar 4. Diagram alir.

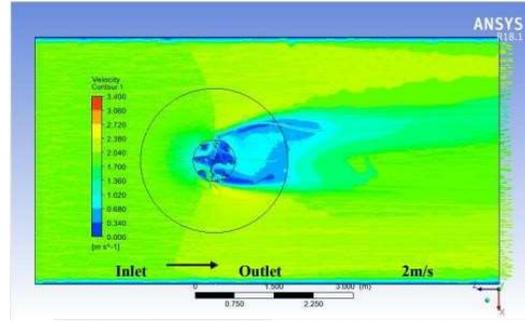
3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi turbin L 10° dalam kontur kecepatan. Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan hasil simulasi turbin L 10° dalam kontur tekanan.

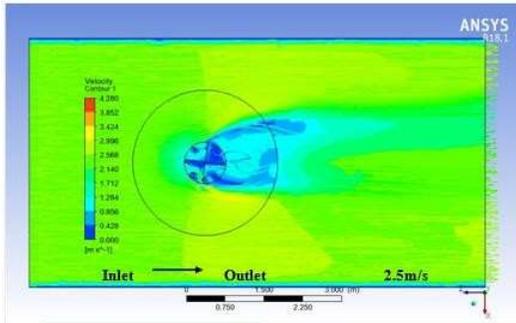
Gambar 9 dan Gambar 10 merupakan hasil simulasi turbin L 20° dalam kontur kecepatan. Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan hasil simulasi turbin L 20° dalam kontur tekanan.



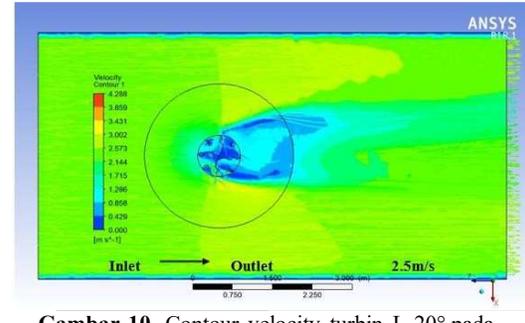
Gambar 5. Contour velocity turbin L 10° pada kecepatan angin 2 m/s.



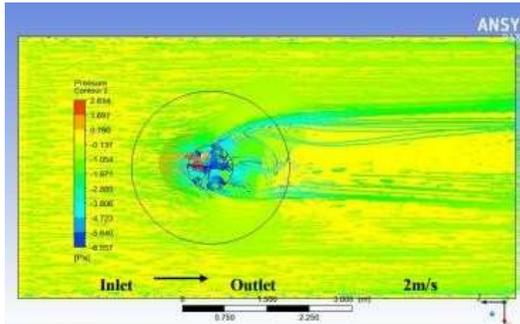
Gambar 9. Contour velocity turbin L 20° pada kecepatan angin 2 m/s.



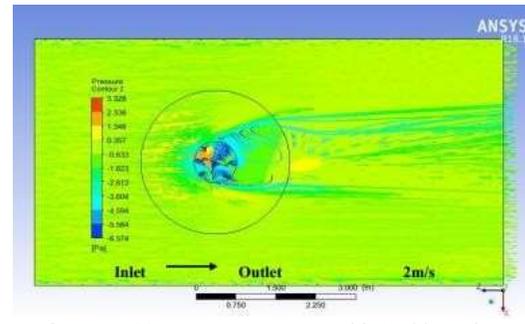
Gambar 6. Contour velocity turbin L 10° pada kecepatan angin 2,5 m/s.



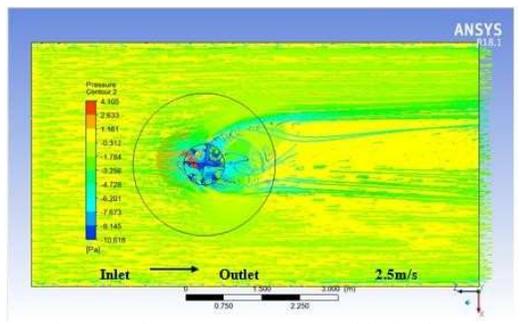
Gambar 10. Contour velocity turbin L 20° pada kecepatan angin 2,5 m/s.



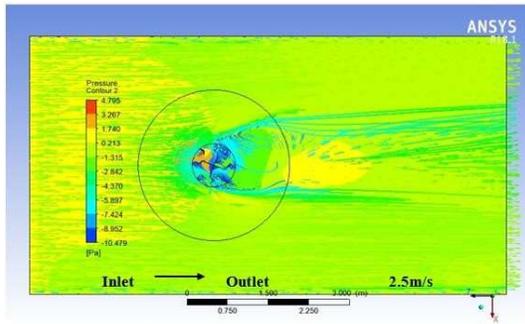
Gambar 7. Contour pressure turbin L 10° pada kecepatan angin 2 m/s.



Gambar 11. Contour pressure turbin L 20° pada kecepatan angin 2 m/s.

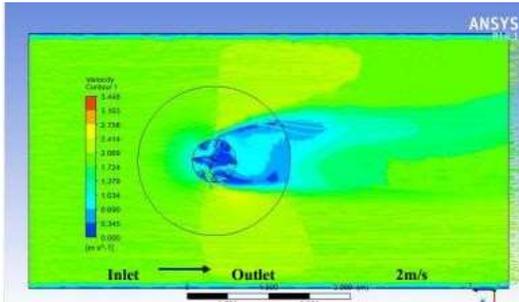


Gambar 8. Contour pressure turbin L 10° pada kecepatan angin 2,5 m/s.

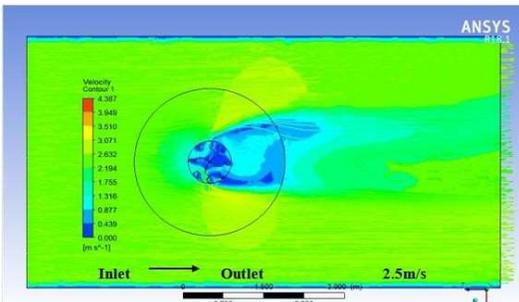


Gambar 12. Contour pressure turbin L 20° pada kecepatan angin 2,5 m/s.

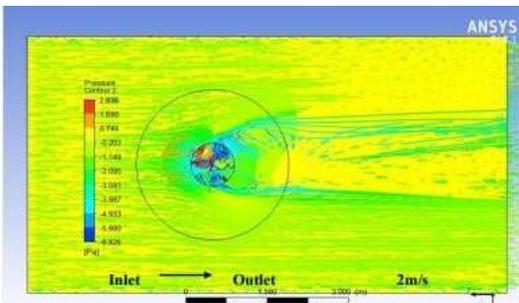
Gambar 13 dan Gambar 14 menunjukkan hasil simulasi turbin L 30° dalam kontur kecepatan. Gambar 15 dan Gambar 16 merupakan hasil simulasi turbin L 30° dalam kontur tekanan.



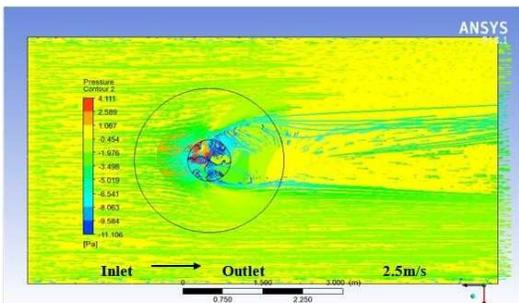
Gambar 13. Contour velocity turbin L 30° pada kecepatan angin 2 m/s.



Gambar 14. Contour velocity turbin L 30° pada kecepatan angin 2,5 m/s.



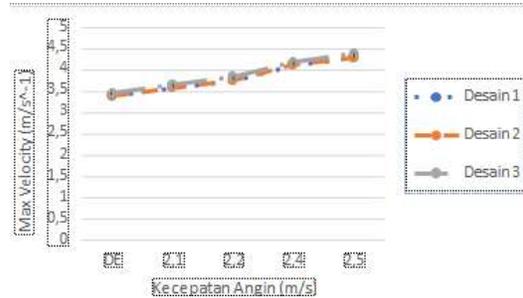
Gambar 15. Contour pressure turbin L 30° pada kecepatan angin 2 m/s.



Gambar 16. Contour pressure turbin L 30° pada kecepatan angin 2,5 m/s.

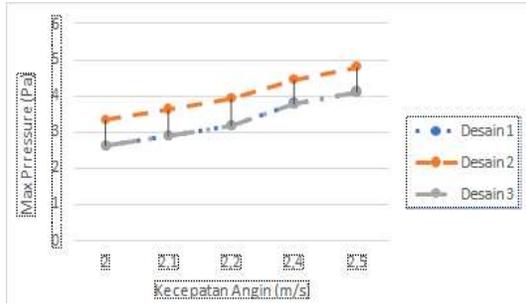
Hasil simulasi *contour velocity* dan *contour pressure* pada turbin angin menunjukkan tekanan tinggi terjadi pada bagian yang berwarna merah dan tekanan rendah ditunjukkan dengan bagian yang berwarna biru. Pada simulasi turbin angin, dapat dilihat melalui hasil simulasi yang mengalami aliran laminar saat masuk *inlet*, kemudian menjadi turbulen saat membentur *blade* turbin.

Gambar 17 di bawah menunjukkan grafik kecepatan angin terhadap *maximum velocity* turbin angin sudut *blade* 10°, 20°, dan 30°. Dari grafik dapat dilihat turbin angin sudut 10° memiliki nilai *maximum velocity* tertinggi dengan nilai 4,280 m/s⁻¹ pada kecepatan angin 2,5 m/s dan nilai *maximum velocity* terendah dengan nilai 3,392 m/s⁻¹ pada kecepatan angin 2 m/s. Turbin angin 20° memiliki nilai *maximum velocity* tertinggi dengan nilai 4,288 m/s⁻¹ pada kecepatan angin 2,5 m/s, dan nilai *maximum velocity* terendah dengan nilai 3,400 m/s⁻¹ pada kecepatan angin 2 m/s. Turbin angin 30° memiliki nilai *maximum velocity* tertinggi dengan nilai 4,387 m/s⁻¹ pada kecepatan angin 2,5 m/s dan nilai *maximum velocity* terendah dengan nilai 3,448 m/s⁻¹ pada kecepatan angin 2 m/s.



Gambar 17. Grafik kecepatan angin terhadap maximum velocity.

Gambar 18 di bawah menunjukkan kecepatan angin terhadap *maximum pressure* turbin angin sudut *blade* 10°, 20°, dan 30°. Dari grafik dapat dilihat turbin angin sudut 10° memiliki nilai *maximum pressure* tertinggi dengan nilai 4,105 Pa pada kecepatan angin 2,5 m/s dan nilai *maximum pressure* terendah dengan nilai 2,614 Pa pada kecepatan angin 2 m/s. Turbin angin 20° memiliki nilai *maximum pressure* tertinggi dengan nilai 4,795 Pa pada kecepatan angin 2,5 m/s dan nilai *maximum pressure* terendah dengan nilai 3,328 Pa pada kecepatan angin 2 m/s. Turbin angin 30° memiliki nilai *maximum pressure* tertinggi dengan nilai 4,111 Pa pada kecepatan angin 2,5 m/s dan nilai *maximum pressure* terendah dengan nilai 2,636 Pa pada kecepatan angin 2 m/s.



Gambar 18. Grafik kecepatan angin terhadap maximum pressure.

Adapun hasil yang didapat setelah dilakukannya pengujian dengan 5 kali percobaan tanpa adanya beban pompa dan didapatkan hasil putaran poros turbin. Hasil tersebut ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil pengujian turbin angin tanpa beban.

Kecepatan Angin	Uji Kecepatan Putaran Turbin				
	1	2	3	4	5
1.5 m/s	23.6 rpm	24.2 rpm	22.8 rpm	23.1 rpm	22.5 rpm
2 m/s	34.3 rpm	33.6 rpm	35.1 rpm	34.8 rpm	33.9 rpm
2.2 m/s	37.6 rpm	38.2 rpm	37.9 rpm	36.8 rpm	37.2 rpm
2.5 m/s	41.4 rpm	40.6 rpm	41.3 rpm	42.4 rpm	41.8 rpm
2.7 m/s	46.7 rpm	45.5rpm	46.2 rpm	47.3 rpm	45.7 rpm
3.3 m/s	54.9 rpm	53.2 rpm	55.4 rpm	54.2 rpm	53.6 rpm
3.7 m/s	58.5 rpm	57.1 rpm	57.6 rpm	59.5 rpm	59.1rpm
4 m/s	61.2 rpm	62.7 rpm	63.5 rpm	61.9 rpm	60.4rpm
4.7 m/s	70.1 rpm	68.8 rpm	70.7 rpm	71.6 rpm	72.3 rpm
5.2 m/s	78.8 rpm	79.3rpm	78.9 rpm	79.4 rpm	80.2 rpm

Turbin angin mulai bekerja atau berputar pada kecepatan angin 1,5 m/s tanpa adanya beban pompa dengan nilai 23,6 rpm pada percobaan pertama, 24,2 rpm pada percobaan kedua, 22,8 rpm pada percobaan ketiga, 23,1 rpm pada percobaan keempat, dan 22,5 rpm pada percobaan kelima.

Beberapa persamaan yakni Persamaan 1-Persamaan 9 untuk menentukan kecepatan putar *blade* secara teoretis. Persamaan 1 digunakan untuk menghitung volume udara (V), di mana v adalah kecepatan angin dan A adalah luas sapuan. Persamaan 2 untuk menghitung *tip speed ratio* (λ), di mana $D = 2 \times r$, n merupakan nilai kecepatan putar aktual tanpa beban pompa. Persamaan 3 untuk menghitung torsi (T). Persamaan 4 untuk menghitung daya mekanik turbin ($P_{mekanik}$). Persamaan 5 digunakan untuk menghitung daya angin (P_{angin}). Persamaan 6 digunakan untuk menghitung koefisien daya (CP). Kecepatan putar *blade* ditentukan dengan menghitung kecepatan angin mengenai *blade* dan nilai kecepatan *blade* terlebih dahulu. Persamaan 7 digunakan untuk menghitung kecepatan angin mengenai *blade* (v_1). Persamaan 8 dan Persamaan 9 digunakan untuk menghitung nilai kecepatan *blade* (v_{blade}^2). Persamaan 10 digunakan untuk menghitung kecepatan putar *blade* (ω).

$$V = v \cdot A \tag{1}$$

$$\lambda = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot v} \tag{2}$$

$$T = \frac{v^2 \cdot r^3}{\lambda} \tag{3}$$

$$P_{mekanik} = \frac{2\pi \cdot n \cdot T}{60} \tag{4}$$

$$P_{angin} = \frac{1}{2} \rho V^3 A \tag{5}$$

$$CP = \frac{P_{mekanik}}{P_{angin}} \tag{6}$$

$$v_1 = v_0 \sin \alpha \tag{7}$$

$$v_{blade}^2 = v_1^2 + u^2 + 2v_1 u \cos(180 - \alpha) \tag{8}$$

$$u = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \tag{9}$$

$$\omega = \frac{v_{blade}}{R} \tag{10}$$

Tabel 3 berikut menunjukkan hasil perhitungan turbin angin tanpa beban.

Tabel 3. Hasil perhitungan turbin angin tanpa beban.

No	Kecepatan Angin (m/s)	V (m ³)	TSR	T (N.m)	P _{mekanik} (W)	P _{turbine} (W)	CP	v ₁ (m/s)	v _{blade} (m/s)	ω (rad/s)
1	1.5	0.73	0.65	0.22	0.54	1.01	0.53	-0.81	2.85	0.007
2	2	1	0.71	0.36	1.29	2.41	0.53	1.08	19.71	0.049
3	2.2	1.10	0.71	0.43	1.70	3.20	0.53	1.19	29.92	0.074
4	2.5	1.25	0.69	0.57	2.49	4.71	0.53	1.36	36.12	0.090
5	2.7	1.35	0.72	0.64	3.14	5.93	0.53	1.46	69.05	0.172
6	3.3	1.65	0.69	1	5.74	10.83	0.53	1.79	109.41	0.273
7	3.7	1.85	0.66	1.32	8.13	15.26	0.53	2.01	106.7	0.266
8	4	2	0.64	1.59	10.20	19.29	0.52	2.17	104.04	0.260
9	4.7	2.36	0.62	2.26	16.61	31.29	0.53	2.55	147.6	0.036
10	5.2	2.61	0.63	2.72	22.49	42.38	0.53	2.82	266.9	0.66

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil simpulan bahwa merancang bangun desain turbin angin Savoius-Darrieus dengan menggunakan *software* SolidWorks 2020, dengan diameter 800 mm, lengkung 4 *blade* dalam 180 derajat, lengkung 4 *blade* luar 180 derajat, dan menyimulasikan desain dengan menggunakan *software* ANSYS untuk menghasilkan aliran fluida yang turbulen. Pada hasil simulasi turbin angin mengalami aliran laminar ketika masuk pada bagian *inlet*, kemudian terjadi turbulen ketika membentur *blade* turbin angin, terlihat juga beberapa *counter rotating* pada dinding cekung turbin. Pada bagian tengah sebelum melewati *rotating zone*, mengalami aliran transisi dan setelah melewati lingkaran *rotating zone*, aliran menjadi laminar hingga *outlet*. Nilai koefisien daya (CP) rata-rata yang diperoleh berdasarkan Tabel 3 mendapatkan hasil pengujian yaitu 0,53.

Daftar Pustaka

- [1] Bmkg, (2023), “Prakiraan Cuaca Semarang Provinsi Jawa Tengah”, <https://www.bmkg.go.id/cuaca/prakiraan/cuaca.bmkg?Kota=Semarang&AreaID=501262&Prov=35>, diakses pada tanggal 6 Maret 2023.
- [2] Bono, -, & Suwoto, G. (2019). Pembuatan Turbin Angin Sumbu Vertikal Dengan Variasi Jumlah Sudu Dan Sistem Buka-Tutup Sirip. *Eksergi*, 14(2), 31–35. <https://doi.org/10.32497/eksergi.v14i2.1322>
- [3] Canra, D., Sumiati, R., Mesin, T., & Negeri, P. (2021). Kaji Eksperimental Turbin Angin Hybrid Savonius - Darrieus Eggbeater Bertingkat Banyak. 4–5.
- [4] EMD International A/S, Denmark, dibiayai oleh Environmental Support Program 3 (ESP3) / Danida, (2014-2017), “*Wind Energy Resources of Indonesia*”, <http://indonesia.windprospecting.com/>, diakses pada tanggal 19 Desember 2022.
- [5] Fadila, A., Zakaria, I., & Fauzan, M. (2019). RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN TIPE DARRIEUS TIGA SUDU RANGKAP TIGA DENGAN PROFIL NACA 0006. 15(3), 102–114.
- [6] Hernowo, S. (2020). Rancang bangun turbin angin sumbu horizontal sederhana dengan panjang sudu 1 meter sigit hernowo. *Jurnal Voering*, 5(1), 15–21.
- [7] Idschool, “Pengertian & Perbedaan Angin Darat dan Angin Laut”, <https://idschool.net/smp/perbedaan-angin-darat-dan-angin-laut/>, diakses pada tanggal 19 Desember 2022.
- [8] Konsepgeografi, (2022), “Perbedaan serta Proses Terjadinya Angin Gunung dan Angin Lembah”, <https://www.konsepgeografi.net/2016/01/angin-gunung-dan-angin-lembah.html>, diakses pada tanggal 20 Desember 2022.
- [9] Muttaqin, I., & Suprpto, M. (2021). Pembuatan Turbin Angin Savonius Bertingkat Berbahan Aluminium. *Journal of Industrial Engineering and Operation Management*, 4(1), 2–6. <https://doi.org/10.31602/jieom.v4i1.5444>
- [10] Nakhoda, Y. I., & Saleh, C. (2017). Pembangkit Listrik Tenaga Angin Sumbu Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga Di Daerah Pesisir Pantai. *Institut Teknologi Nasional Malang*, 7(1), 20–28.
- [11] Natayuda, G., Jenderal, U., & Yani, A. (2018). *Analisa aerodinamika dan kinerja turbin angin tipe sumbu horizontal menggunakan computational fluid dynamics. September 2017*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36558.15689>
- [12] Sanusi, A., Mesin, J. T., & Cendana, U. N. (2017). Simulasi Aliran Fluida pada Blade Rotor Turbin Angin Savonius dengan Computation Fluid Dynamics (CFD). 04(01), 11–15.
- [13] Seputar pengetahuan, (2023), “9 Macam Angin Pengertian dan Penjelasan”, <https://www.seputarpengetahuan.co.id/2020/03/macam-macam-angin.html>, diakses pada tanggal 12 Maret 2023.
- [14] St, E., St, I. R., Tambunan, E. H., Akbar, M. A., & Rahadian, R. (2014). Analisis Cfd Pada Turbin Angin Hybrid Savonius-Darrieus. *Seminar Nasional Teknisk Mesin Universitas Trisakti*, 4, 1–6.
- [15] Syahyuniar, R., Ningsih, Y., & Herianto, H. (2018). RANCANG BANGUN BLADE TURBIN ANGIN TIPE HORIZONTAL. *Jurnal Elemen*, 5(1), 28–34. <http://je.politala.ac.id/index.php/JE/article/view/74>
- [16] Tonglolangi, Y. Y., Teknik, F., Studi, P., & Mesin, T. (2006). Analisa kinerja kincir angin sederhana dengan dua sudu poros horizontal. 2–6.
- [17] Turbin, A., Sumbu, A., & Dengan, V. (2016). Analisis turbin angin sumbu vertikal dengan 4, 6 dan 8 sudu. 02(01), 52–57.
- [18] Valentino, V., Yusuf, M. I., Hiendro, A., Studi, P., Elektro, T., & Teknik, J. (1954). Rancang bangun turbin angin savonius untuk penerangan penginapan di desa temajuk kecamatan paloh kabupaten sambas.
- [19] Widodo, S. B., & Suheri, S. (2014). Pengujian Unjuk Kerja Turbin Angin Type Savonius Dua Tingkat Delapan Sudu Lengkung U. Jurutera, 4–7. <http://jurnal.unsam.ac.id/index.php/jurutera/article/view/716>