

ANALISIS SIMULASI ALIRAN FLUIDA DAN KINERJA PADA TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL SAVONIUS & DARRIEUS H ROTOR

Diyon Aji Pramana, Althesa Androva dan Agus Mukhtar³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Semarang

Gedung B Lantai 3, Kampus 1 Jl. Sidodadi Timur 24, Semarang

E-mail : diyonaji04@gmail.com¹, althesaandrova@upgris.ac.id², agusmukhtar@gmail.com³

Abstrak

Abstrak – Energi sangat penting untuk pertumbuhan ekonomi dan pengembangan sumber daya manusia. Salah satu sumber energi terbarukan yang aman dan dapat diakses secara bebas adalah energi angin. Turbin angin digunakan untuk mengubah energi angin menjadi energi kinetik, yang biasanya dimanfaatkan untuk menggerakkan generator. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan desain turbin terbaik dalam mengekstraksi energi angin dengan daya dan efisiensi optimal. Metode yang digunakan adalah Computational Fluid Dynamics (CFD) untuk menganalisis tekanan pada bilah turbin akibat interaksi dengan udara dan aliran udara di sekitar turbin. Jenis turbin yang diuji adalah Savonius dan Darrieus H rotor dengan variasi kecepatan angin masuk antara 1 m/s hingga 3 m/s. Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan angin, daya turbin dan nilai koefisien daya (Cp) semakin meningkat. Desain turbin angin 1 menghasilkan daya 10,700 Watt dan Cp 0,509 pada kecepatan angin 3 m/s, sedangkan desain turbin angin 2 menghasilkan daya 10,879 Watt dengan Cp 0,422 dan desain turbin angin 3 menghasilkan daya 4,997 Watt dengan Cp 0,428. Desain turbin angin 1 menghasilkan tekanan 15,770 Pa dan percepatan aliran 11,490 m/s, yang menunjukkan efisiensi tertinggi dibandingkan desain lainnya. Berdasarkan hasil diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa desain turbin angin 1 adalah yang paling optimal dalam hal efisiensi dan daya yang dihasilkan.

Kata Kunci: Computational Fluid Dynamics, Energi Terbarukan, Turbin Angin Darrieus H Rotor, Turbin Angin Savonius

I. PENDAHULUAN

Energi sangat penting untuk pertumbuhan ekonomi dan pengembangan sumber daya manusia. Setiap makhluk membutuhkannya untuk kelangsungan hidup. Semakin meningkatnya populasi manusia diseluruh dunia menyebabkan peningkatan kebutuhan akan sumber energi. Akibatnya, penelitian tentang sumber energi alternatif sangat penting. Sumber daya alternatif, seperti tenaga surya, angin, dan air, tidak berpolusi dan dianggap sebagai energi terbarukan karena sumber dayanya tidak terbatas pada angin (Siagian et al., 2023). Karena angin adalah sumber energi terbarukan yang aman dan dapat diakses secara bebas, penggunaan sistem konversi energi angin tentu akan menguntungkan lingkungan. Turbin angin dapat membantu mengurangi emisi gas buang karena menghasilkan energi listrik atau energi kinetik tanpa menghasilkan emisi karbon dioksida (Andi Mulkan, 2022).

Jenis turbin angin sumbu horizontal (HAWT) adalah salah satu jenis turbin yang paling sering digunakan untuk pemanfaatan energi angin. HAWT memiliki banyak keunggulan teknis dibandingkan dengan VAWT, tetapi VAWT memiliki struktur yang lebih sederhana, dapat bekerja pada segala arah angin, tidak menimbulkan suara bising, dan lebih handal dalam kondisi angin turbulen. Kelebihan-kelebihan tersebut yang membuat turbin angin sumbu vertikal menjadi teknologi yang murah dan mudah penerapannya (Wijayanto & Akbar, 2023). Daya yang dihasilkan oleh turbin angin sangat bergantung pada desain sudu dan kecepatan angin. Karena sudu berbentuk sayap turbin, sudu dapat menampung aliran udara yang mendorong

sudu, yang menghasilkan gaya angkat atau gaya dorong. Airfoil adalah potongan melintang sudu yang dihasilkan oleh perpotongan tegak sudu terhadap rotor. Oleh karena itu daya yang dihasilkan turbin angin sangat dipengaruhi oleh desain sudu (Dharma & Masherni, 2017).

Jika dilihat bentuk sumbunya turbin angin sumbu vertikal masih dibagi menjadi Savonius, Darrieus, Darrieus-H (Giromill). Sudu adalah bagian penting dari turbin angin karena berfungsi untuk mengekstrak energi dari angin. Untuk mendapatkan daya yang besar, penting untuk mempertimbangkan kemampuan sudu dalam mengkonversi energi angin yang tersedia (Irawan, 2016). Sebelum diimplementasikan untuk mengetahui kinerja turbin serta melakukan pengujian koefesien daya turbin adalah dengan melakukan simulasi. (Teja, 2017).

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pola aliran fluida yang terjadi pada turbin dan desain turbin yang paling optimal dalam mengekstraksi energi angin. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah kecepatan angin masuk yang diujikan pada turbin yaitu 1 m/s, 1,2 m/s, 1,4 m/s, 1,6 m/s 1,8 m/s, 2 m/s, 2,2 m/s, 2,4 m/s, 2,6 m/s, 2,8 m/s, 3 m/s sedangkan untuk variabel terikatnya adalah daya turbin dan nilai cp (*coefficient power*)

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Dharma & Masherni, 2017) turbin dengan sudu 5/16, 5/16, 7/16 variasi kecepatan angin yang diujikan 3,6 m/s, 4 m/s, 4,13 m/s, 4,5 m/s, 4,6 m/s, 4,67 m/s, 5,4 m/s, 5,63 m/s dan 6,1 m/s. sudu 5/16, 5/16, 7/16 variasi kecepatan angin yang diujikan 3,6 m/s, 4 m/s, 4,13 m/s, 4,5 m/s, 4,6 m/s, 4,67 m/s, 5,4 m/s, 5,63 m/s dan 6,1 m/s dapat menghasilkan daya turbin maksimal sampai 6,125 Watt pada sudu 7/16 dan daya minimum 3,44 Watt pada sudu 5/16. Dengan kecepatan angin tertinggi 6,1 m/s, sudu 5/16 menghasilkan efisiensi sistem sebesar 18,99 persen; sudu 6/16 menghasilkan efisiensi sistem sebesar 21,81 persen; dan sudu 7/16 menghasilkan efisiensi sistem sebesar 23,06 persen. Menurut penelitian (Astuti & Fachrudin, 2020) pada turbin angin Darrieus-H 3412 dengan variasi dimensi sudu dan kecepatan angin yang berbeda. Dimensi sudu yang digunakan adalah 300 mm, 350 mm, 400 mm, 450 mm, dan 500 mm, dan kecepatan angin adalah 3 m/detik, 3,5 m/detik, dan 4 m/detik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi sudu dan kecepatan angin, semakin besar daya keluar. Daya output terbesar pada kecepatan angin terbesar (5 m/s) pada tinggi sudu terbesar (500 mm), yaitu sebesar 3,62 W.

Dari hasil perancangan (Alfiansyah & Sumarjo, 2023) menunjukkan bahwa diameter rotor 442 mm, tinggi rotor 884 mm, tinggi sudu 439 mm, diameter end plates 486,2 mm, dan diameter poros 18 mm. Dalam simulasi diketahui nilai stress poros maksimum adalah 30.794 N/m², *displacement* maksimum adalah 0,313 x10-4 mm, safety faktor minimum adalah 3,028, dan nilai strain adalah 0,114 x10-6. Hasil ini dapat digunakan sebagai referensi untuk pembuatan turbin angin lainnya. Selain itu simulasi terhadap turbin angin savonius oleh (Wicaksono, 2020) menunjukkan bahwa *guide vane* dapat meningkatkan laju aliran udara menuju sudu turbin dan meningkatkan kinerja turbin angin Savonius sebesar 22,2% pada berbagai arah angin. Simulasi yang dilakukan (Widodo et al., 2019) pada turbin angin Darrieus tipe H yang memiliki sudu-sudu yang lurus, dengan diameter 2260 mm dan tinggi 2350 mm menghasilkan gaya lift 143,257 N dan gaya drag 3,978 N pada sudut serang (α) = 8,95°. Serta memiliki nilai tegangan *von Misses* maksimum 184,96 MPa yang membuat turbin angin kecil kemungkinan mengalami kegagalan.

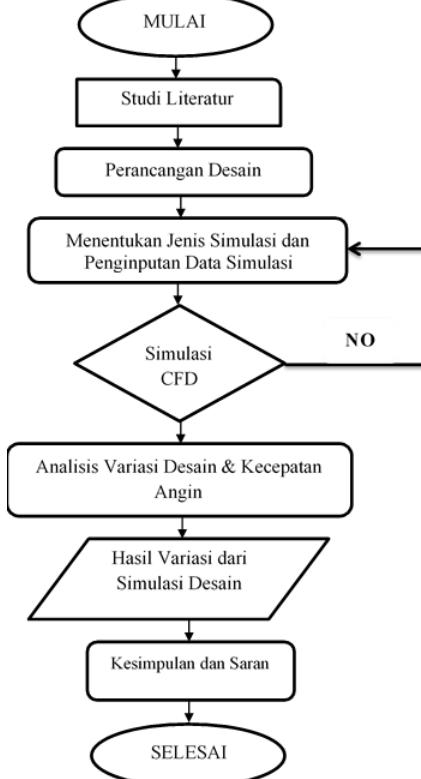
II. METODOLOGI PENELITIAN

10. Metodologi Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental dengan metode penelitian kuantitatif yang digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel independen (treatment/perlakuan) terhadap variabel dependen (hasil) dalam kondisi yang terkendalikan. Kondisi dikendalikan agar tidak ada variabel lain (selain varibel treatment) yang mempengaruhi variabel dependen. Selain itu juga digunakan simulasi

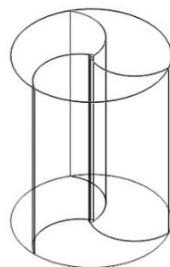
computational fluid dynamics (CFD) untuk mengetahui pola aliran fluida pada bilah turbin dengan model numerik yang disesuaikan dengan kondisi lapangan.

Tahapan pada penelitian ini dapat digambarkan melalui diagram alir berikut ini :



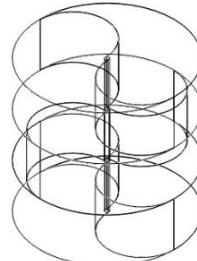
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Dalam salah satu bidang mekanika fluida, *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menggunakan algoritma dan metode numerik untuk menyelesaikan dan menganalisis semua permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. Tujuan digunakannya CFD adalah untuk memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks secara akurat (Prasetyo et al., 2015). Penggunaan CFD untuk eksperimen memberikan keuntungan yang lebih jika dibandingkan dengan menggunakan membuat alat. Efisiensi waktu dan jumlah pengujian yang tak terbatas serta hasil yang didapatkan dapat diperoleh sesuai dengan pemberian kondisi batas yang diterapkan dan dapat dianalisa disetiap waktu yang ditentukan menjadikan CFD memiliki keunggulan tersendiri. CFD tersusun pada algoritma numerik untuk menyelesaikan masalah aliran fluida mengandung tiga elemen yaitu *Pre-processor*, *Solver* dan *Post processor*.



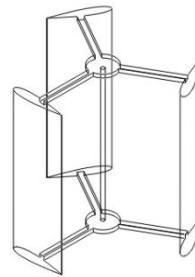
Gambar 2. Desain Turbin Angin 1

Desain turbin 1 merupakan desain turbin savonius dengan diameter turbin 680 mm, tinggi turbin 840 mm, lebar bilah 330 mm, dan 3 buah bilah turbin.



Gambar 3. Desain Turbin Angin 2

Pada desain turbin angin 2 ini merupakan desain turbin savonius yang memiliki tiga tingkat dengan diameter turbin 800 mm, tinggi turbin 840 mm, lebar bilah 390 mm dan 6 buah bilah turbin.



Gambar 4. Desain Turbin Angin 3

Desain turbin angin 3 ini adalah desain turbin angin darrieus h rotor yang memiliki bentuk bilah airfoil naca 0018 atau yang biasanya digunakan sebagai desain sayap pesawat. diameter turbin sebesar 840 mm, tinggi turbin 840 mm dan 3 buah bilah turbin.

11. Perhitungan Kinerja Turbin Angin

Energi kinetik adalah energi yang dihasilkan oleh angin, turbin angin menangkap energi kinetik ini dan menggunakan untuk memutar rotor turbin. Dengan menganggap suatu penampang melintang A, dimana udara dengan kecepatan v mengalami pemindahan volume untuk setiap satuan waktu yang disebut dengan aliran volume V , maka didapat persamaan daya angin sebagai berikut (Hutabarat, 2024):

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Daya rotor, juga dikenal sebagai daya keluaran dari turbin angin adalah daya yang dihasilkan oleh rotor saat hembusan angin mengenai sudu rotor sehingga bergerak. Daya rotor yang dihasilkan oleh sudu turbin dapat dirumuskan (Achsany, 2016) :

$$Pr = T \cdot \omega$$

Dan untuk menentukan percepatan sudut dapat menggunakan persamaan :

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Sentosa, 2017) diketahui bahwa persamaan torsi turbin angin yaitu :

$$T = \frac{1}{2} \rho A v^2 r$$

Pada turbin Darriues sumbu vertikal, berhubungan dengan integral bentuk *elips*, perhitungan area sapuan menjadi lebih sulit. Namun, pendekatan bentuk baling-baling mirip dengan parabola, jadi persamaan dapat dituliskan (Andi Mulkan, 2022):

$$A = \frac{2}{3} \cdot (\text{maksimum lebar rotor di tengah}) \cdot (\text{tinggi rotor})$$

Luas daerah sapuan untuk turbin angin Savonius adalah tinggi rotor (H) dikali diameter (D). Maka luas penampang yang digunakan yaitu $\frac{1}{2}$ luas permukaan tabung (Idris et al., 2020) :

$$A = \pi \cdot r(r + t)$$

Tip Speed Ratio merupakan perbandingan antara kecepatan putar turbin terhadap kecepatan angin. Performansi turbin angin sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin. Apabila angin dengan kecepatan tinggi mengenai sudut turbin, sudut akan berputar dengan cepat. TSR dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Idris et al., 2020).

$$\lambda = \frac{\pi Dn}{60Vw}$$

Coefficient Power atau Koefisien daya adalah sebagian kecil dari tenaga angin hulu, yang ditangkap oleh bilah turbin, yang merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh rotor dengan daya angin, nilai koefisien daya tidak akan melebihi nilai ideal yaitu sebesar 0.593. (Hadi & Kamal, 2017). Dengan kata lain nilai C_p merupakan nilai yang dapat mengukur kemampuan suatu turbin dalam mengekstrak energi angin. Persamaan nilai koefisien daya sebagai berikut :

$$C_p = \frac{Pr}{Pw}$$

Model Computational Fluids Dynamics (CFD)

Disebabkan pada penelitian ini akan mensimulasikan aliran fluida di sekitar turbin angin maka perlu dibuatnya sebuah ruang gerak fluida (domain) terlebih dahulu, barulah menentukan model simulasi yang sesuai. Berdasarkan variabel bebasnya simulasi yang akan dilakukan merupakan simulasi aliran fluida berkecepatan rendah, perlu diperhatikan untuk model simulasi yang akan digunakan berikut ini.

Tabel 1. Model Simulasi

No	Model Simulasi	Sliding Mesh
1	<i>Transient</i>	<i>2nd Order Implicit</i>
2	<i>Turbulence</i>	K- ω (SST)
3	<i>Pressure</i>	<i>2nd Order</i>
4	<i>Momentum</i>	<i>2nd Order</i>
5	<i>P-V Coupling</i>	PISO

Karena model *turbulence* yang digunakan adalah *transient* maka P-V *Coupling Scheme* dipilih tipe PISO (*Pressure Implicit with Splitting of Operators*), PISO sangat berguna pada simulasi aliran *transient* (tidak tetap) dengan kondisi yang berubah secara dinamis dan kompleks. Algoritma PISO dapat dipilih sebagai metode solusi untuk masalah aliran transien, dan penggunaannya membantu mencapai solusi *konvergen* yang lebih cepat dan akurat.

Tabel 2. Model Simulasi

No	Boundary Condition	Keterangan
1	<i>Inlet</i>	Nilai Kecepatan angin masuk

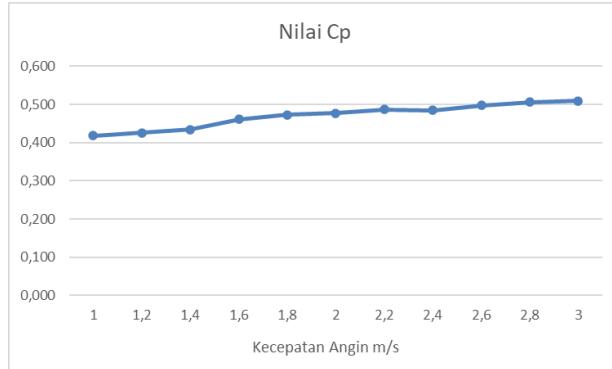
2	<i>Outlet</i>	<i>Static Pressure = 0</i>
3	<i>Tunel</i>	<i>No slip condition</i> <i>Walls motion:</i> <i>Moving wall</i> <i>Motion:</i> <i>Rotational</i>

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

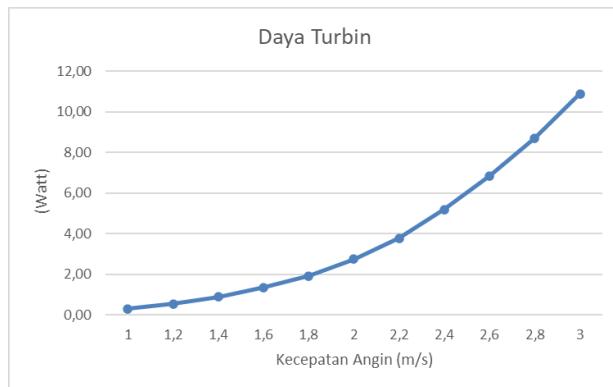
1. Dari perhitungan yang telah dilakukan maka didapat grafik sebagai berikut



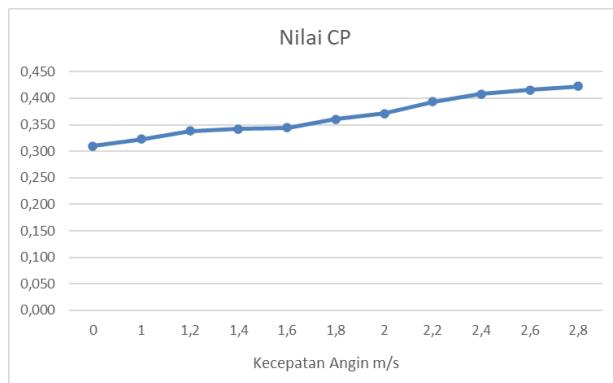
Gambar 5. Grafik Daya Turbin Desain Turbin Angin 1



Gambar 6. Grafik Nilai Cp Desain Turbin Angin 1



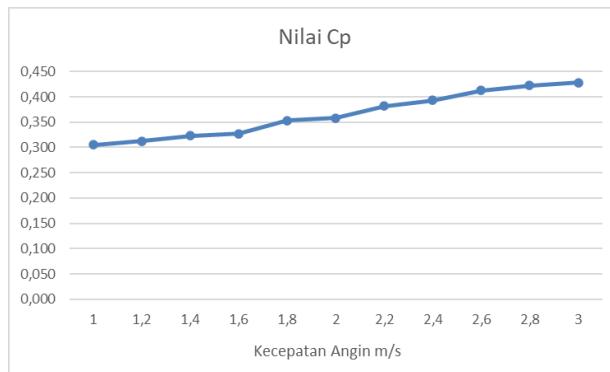
Gambar 7. Grafik Daya Turbin Desain Turbin Angin 2



Gambar 8. Grafik Nilai Cp Desain Turbin Angin 2



Gambar 9. Grafik Daya Turbin Desain Turbin Angin 3



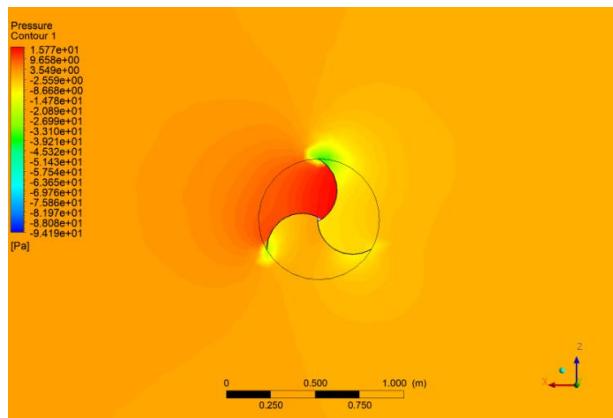
Gambar 10. Grafik Nilai Cp Desain Turbin Angin 3

Hasil perhitungan menunjukkan daya turbin dan nilai Cp berbanding lurus seiring dengan meningkatnya kecepatan angin masuk. Meskipun pada nilai Cp peningkatannya tidak signifikan seperti pada grafik daya turbin. Hal tersebut tergantung pada kinerja turbin dalam mengekstrak energi angin untuk memutar bilah turbin, jika putaran turbin terjadi secara stabil maka kenaikan nilai Cp juga sama. Akan tetapi hal tersebut sulit untuk dicapai karena pada kenyataanya turbin angin yang sering digunakan pada kondisi lingkungan tentu akan mendapat angin masuk dari berbagai arah yang membuat putaran turbin menjadi menjadi kurang stabil. Desain turbin 1 menghasilkan daya turbin 10,700 Watt dan nilai Cp 0,50, Pada desain turbin angin 2 menghasilkan daya 10,879 dan nilai Cp 0,422 sedangkan pada desain turbin 3 menghasilkan daya turbin 4,997 Watt dan nilai Cp 0,428. Dari hasil tersebut didapat hasil bahwa semakin lebar diameter sudut turbin maka daya turbin yang dihasilkan juga akan semakin besar, terlihat dari hasil perhitungan bahwa daya turbin pada desain turbin 1 dan desain turbin 2 memiliki selisih yang sedikit daripada dengan desain turbin 3. Berikut adalah hasil perhitungan tertinggi yaitu pada kecepatan angin 3 m/s:

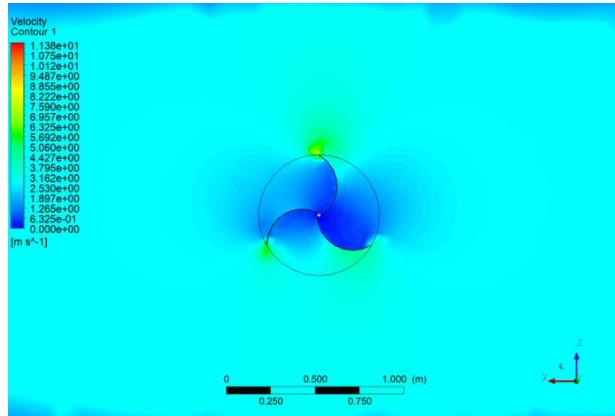
Tabel 3. Hasil Perhitungan

Desain Turbin	Daya Turbin Watt	Nilai Cp
1	10,700	0,509
2	10,879	0,422
3	4,997	0,428

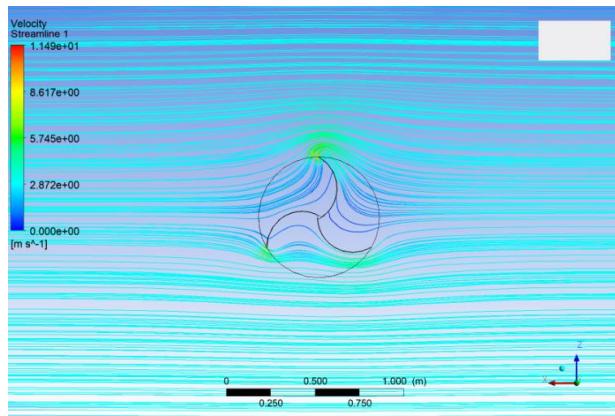
2. Hasil simulasi *Computational Fluid dynamics*



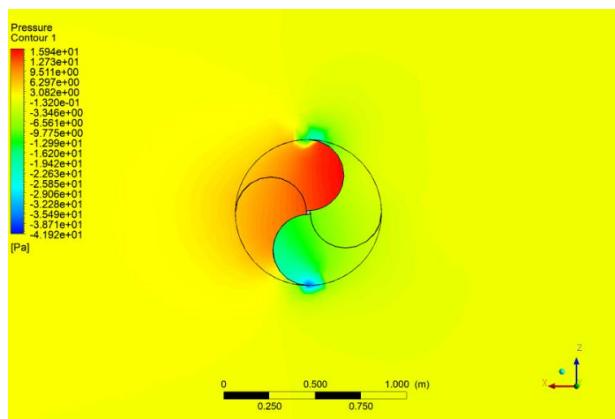
Gambar 11. *Contour Pressure* Desain Turbin Angin 1



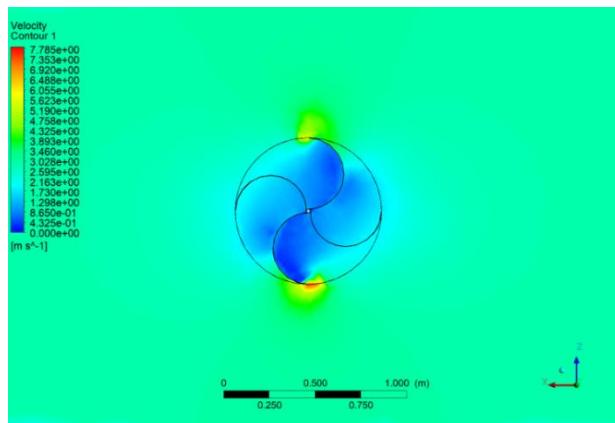
Gambar 12. *Contour Velocity* Desain Turbin Angin 1



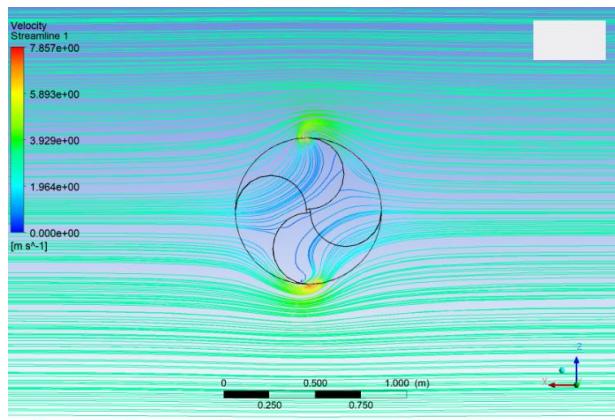
Gambar 13. *Streamline Velocity* Desain Turbin Angin 1



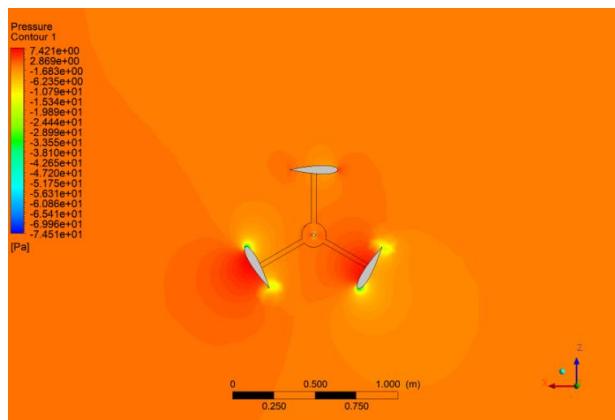
Gambar 14. *Contour Pressure* Desain Turbin Angin 2



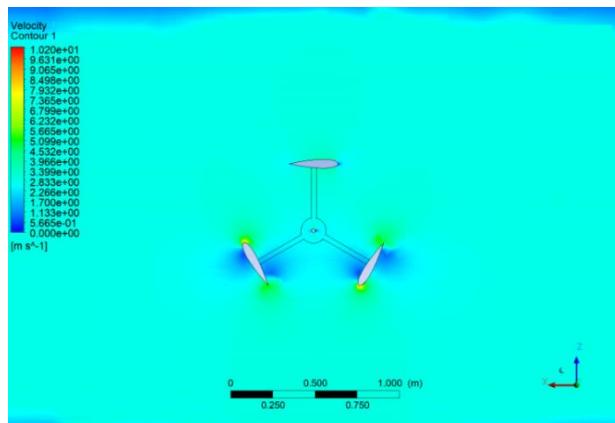
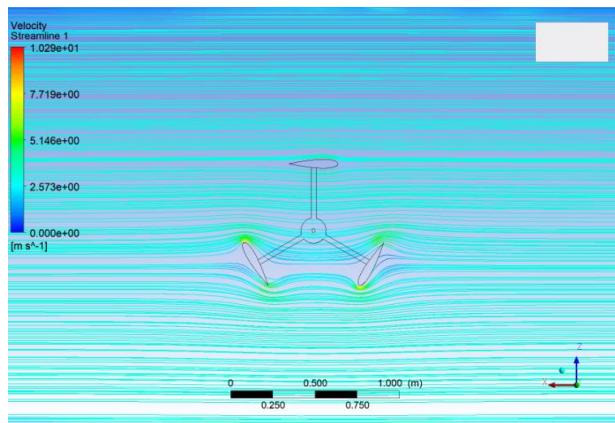
Gambar 15. *Contour Velocity Desain Turbin Angin 2*



Gambar 16. *Streamline Velocity Desain Turbin Angin 2*



Gambar 17. *Contour Pressure Desain Turbin Angin 3*

Gambar 18. *Contour Velocity* Desain Turbin Angin 3Gambar 19. *Streamline Velocity* Desain Turbin Angin 3

Setelah dilakukannya simulasi dengan parameter yang telah ditetapkan maka akan didapat sebuah hasil representasi visual. Pada penelitian ini fokus simulasi yang akan diamati adalah *contour pressure*, *contour velocity* dan *streamline velocity* yang bertujuan untuk mengetahui distribusi tekanan, kecepatan, dan pola aliran fluida yang terjadi pada turbin. Dari hasil simulasi, distribusi tekan dan kecepatan fluida akan meningkat seiring meningkatnya kecepatan masuknya angin. Hasil simulasi *streamline velocity* menunjukkan pola aliran fluida yang terjadi pada bilah turbin dimana pada desain turbin 1 dan 2 mampu menampung aliran fluida lebih banyak karena memiliki sudut berbentuk U. Hal tersebut yang membuat nilai distribusi tekan (*contour pressure*) pada desain turbin angin 1 dan 2 hampir sama. Berbeda pada desain turbin 3 yang pada gambar diatas diperlihatkan aliran fluida bahkan hampir tidak tertampung dengan baik akan tetapi setelah menabrak bilah turbin langsung melewati bilah begitu saja. Sedangkan pada simulasi *contour velocity* diketahui bahwa semakin lebar diameter bilah turbin maka nilai distribusi kecepatan (*contour velocity*) semakin kecil. Berikut adalah tabel hasil simulasi dari 3 model desain turbin pada kecepatan angin 3 m/s:

Tabel 4. Hasil Simulasi

Desain Turbin	Contour Pressure Maks. (Pa)	Contour Velocity Maks. m/s
1	15,770	11,490
2	15,940	7,785
3	7,421	10,198

1. DAFTAR NOTASI (satuan harus menggunakan system Satuan Internasional (SI))

- P_w = Daya angin, Watt
 P_r = Daya rotor/turbin, Watt
 ρ = Massa jenis udara, kg/m^3
 n = Kecepatan putar turbin, rpm
 T = Torsi, N.m
 ω = Kecepatan sudut, rad/s
 A = Luas penampang turbin, m^2
 D = Diameter turbin, m
 r = Jari – jari sudut, m
 t = Tinggi Turbin, m
 V_w = Kecepatan angin, m/s

CP = Power Coeffecient / koefesien daya

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja turbin angin berbanding lurus dengan meningkatnya kecepatan angin masuk yaitu tertinggi pada kecepatan angin masuk 3 m/s. Desain turbin 1 menghasilkan daya turbin 10,700 Watt dengan CP 0,509, desain turbin angin 2 dengan daya turbin 10,879 Watt dan nilai CP 0,422 sedangkan pada desain turbin 3 menghasilkan daya turbin 4,997 Watt dan nilai CP 0,428. Selain itu dari hasil simulasi diketahui bahwa diameter bilah turbin mempengaruhi distribusi tekan pada turbin angin dengan hasil tertinggi terdapat pada desain turbin 2 diikuti desain turbin 1, yang disebabkan oleh diameter bilah turbin yang lebih besar karena dapat menampung lebih banyak angin. Dengan demikian desain turbin 1 dan 2 memiliki kemampuan lebih baik dalam mengekstrak energi angin berkecepatan rendah. Dari hasil tersebut maka dapat ditarik kesimpulan bahwa desain turbin paling optimal adalah desain turbin 1, meskipun daya turbin yang dihasilkan lebih kecil daripada desain turbin 2 akan tetapi desain turbin 1 memiliki kemampuan dalam mengekstraksi energi angin lebih baik dilihat dari nilai CP yang lebih besar dari desain turbin 2 apalagi desain turbin 3.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih banyak kepada dosen pembimbing dan teman-teman yang terlibat dalam proyek penelitian ini serta keluarga dan orang terdekat yang telah memberikan dukungan penuh terhadap penelitian ini hingga dapat selesai tepat waktu.

VI. REFERENSI

Sumber Jurnal:

- Achsany, R. (2016). Perancangan Turbin Angin Sumbu Vertikal Jenis Savonius Dengan 3 Macam Posisi Sudu. *Jurnal Teknologika*, 1.
<https://jurnal.wastukancana.ac.id/index.php/teknologika/article/view/141>
- Alfiansyah, R., & Sumarjo, J. (2023). Design of Savonius Double-Stage Wind Turbine, Capacity 300W. *JEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*, 7(1), 11–26.
<https://doi.org/10.21070/jeeeu.v7i1.1638>
- Andi Mulkan. (2022). Analisis Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Sumber Pembangkit Energi Listrik. *Jurnal Ilmiah Teknik Unida*, 3(1), 74–83. <https://doi.org/10.55616/jitu.v3i1.308>

- Astuti, F. A. F., & Fachrudin, A. R. (2020). Optimasi Daya Turbin Angin Tipe Darrieus-H Naca 3412. *Conference on Innovation and Application of Science and Technology (CIASTECH 2020)*, Ciastech, 863–868.
- Dharma, U. S., & Masherni, M. (2017). Pengaruh Desain Sudu Terhadap Unjuk Kerja Prototype Turbin Angin Vertical Axis Savonius. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 5(2), 138–148. <https://doi.org/10.24127/trb.v5i2.246>
- Hadi, A., & Kamal, S. (2017). Simulasi Numerik Aerodinamika Turbin Angin Poros Horizontal Hybrid Solar Cell. *Jurnal SEMNAS Rekayasa Teknologi Industri Dan Informasi*, 2(1), 355–363.
- Hutabarat, M. A. G. (2024). 2024 Madani : Jurnal Ilmiah Multidisiplin Analisa Kemiringan Sudut Tiga Bilah dan Empat Bilah Pada Turbin Angin Hawt 2024 Madani : Jurnal Ilmiah Multidisiplin. 2(7), 136–148.
- Idris, A. R., Siampa, F., A. Noor3, N., & Thaha, S. (2020). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sumbu Vertikal. *Jurnal Teknologi Elekterika*, 4(1), 28. <https://doi.org/10.31963/elekterika.v4i1.2251>
- Prasetyo, B., Chrismianto, D., & Iqbal, M. (2015). Analisa Pengaruh Geometri Dan Jumlah Sudu Terhadap Performa Wells Turbine. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 3(4).
- Sentosa, F. (2017). *Konfigurasi Sudu Pada Turbin Angin Savonius-Darrieus Dengan Berbasis Computational Fluid Dynamics Analysis of Number and Configuration of Airfoil on the Savonius-Darrieus Wind Turbine Based on*.
- Siagian, P., Suleman, N., Asrim, J. S. P., Tambi, Prihatini, S. E. W. W. O. Z., Budirohmi, A., & Armus, R. (2023). Energi Baru Terbarukan Sebagai Energi Alternatif. In *Yayasan Kita Menulis*. <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- Wicaksono, Y. A. (2020). Studi Komputasi: Pengaruh Desain Guide Vane Terhadap Performa dan Pola Aliran di Sekitar Turbin Angin Savonius. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 8(2), 43–52. <https://doi.org/10.23887/jptm.v8i2.26856>
- Widodo, A. P., Tangkuman, S., & Luntungan, H. (2019). Simulasi Dan Pemodelan Turbin Angin Tipe Darrieus Dengan Konfigurasi Rotor Tipe H Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Makro. ... *Online Poros Teknik* ..., 8(1), 1–13. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/poros/article/view/34702%0Ahttps://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/poros/article/viewFile/34702/32551>
- Wijayanto, E. R., & Akbar, F. T. (2023). *Studi Numerik Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe H-Darrieus Naca0012* Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Indonesia Tahun 2023. 8902120021.