

Studi Numerik Pengaruh Sudut Kemiringan Sudu Terhadap Performa Turbin Angin Vertikal Tipe Savonius

Masykur¹, Adre Kurniadi², Maidi Saputra³, Murhaban⁴

^{1,2,3} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar

e-mail : [1masykur@utu.ac.id](mailto:masykur@utu.ac.id), [2andrekurniadi05@gmail.com](mailto:andrekurniadi05@gmail.com), [3maidisaputra@utu.ac.id](mailto:maidisaputra@utu.ac.id),
murhaban@utu.ac.id

Abstrak

Energi Angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat dirasakan dalam kehidupan sehari-hari. Untuk mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dibutuhkan suatu alat, yaitu turbin angin (wind turbin). Turbin angin jenis horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine*) lebih banyak digunakan dan dikembangkan saat ini dibandingkan dengan turbin angin jenis vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*). Akan tetapi turbin vertikal memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan turbin angin horizontal, yaitu dapat bergerak tanpa tergantung arah angin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi sudut kemiringan sudu turbin vertikal jenis savonius dengan sudut kemiringan sudu 30°, 60°, dan 90° terhadap koefisien daya turbin dan untuk mengetahui sudut kemiringan sudu yang optimal untuk merancangan turbin angin vertikal dengan mensimulasikan menggunakan aplikasi Computational Fluid Dynamics (CFD). Variasi sudut kemiringan sudu turbin adalah 30°, 60°, dan 90°. Hasil didapatkan bahwa nilai Cp (Koefisien Daya) turbin angin dengan penambahan sudut kemiringan sudu 30°, 60° dan 90° memiliki peningkatan berbeda – beda. Variasi penambahan sudut kemiringan sudu turbin dengan sudut kemiringan 90° dapat meningkatkan efisiensi sudu turbin jika dibandingkan dengan sudut kemiringan sudu 30° dan 60° hal ini dibuktikan dengan analisa kontur kecepatan turbin angin, analisa kontur pusaran angin dan analisa kontur intensitas turbulensi turbin menunjukkan bahwa hasil simulasi sudu turbin dengan sudut kemiringan sudu 90° memiliki efisien sudu turbin yang sangat baik dan efektif serta mendapatkan hasil yang optimal.

Kata kunci: Turbin angin, VAWT, CFD, Efisiensi, Kontur, Optimal, TSR, koefisien daya.

Abstract

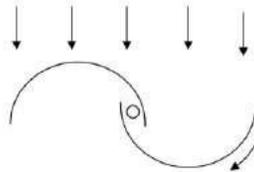
Wind energy is a renewable energy source that can be felt in everyday life. To convert wind energy into electrical energy, a tool is needed that is a wind turbine. Horizontal Axis Wind Turbine is more widely used and developed today than the vertical type wind turbine. However, the vertical turbine has several advantages compared to the horizontal wind turbine, which is that it can move without depending on the direction of the wind. This study aims to determine the effect of tilt angle of savonius turbine with blades angle 30°, 60° and 90° the turbine power coefficient and determine the optimal turbine blade results in designing a Vertical wind turbine by simulation using Computational Fluid Dynamics (CFD). The variations used are tilt angle turbine blades is 30°, 60°, 90°. The results showed that the value of Cp (Power Coefficient) of wind turbines with the addition of the blade angle 30°, 60° and 90° had a different increase. The variation the addition of turbine blade tilt angle with 90° tilt angle can increase the efficiency of the turbine blade when compared 30°, 60° blade inclination this is evidenced by wind turbine speed contour analysis, wind vortex contour analysis and turbulence intensity contour analysis shows that the turbine blade simulation results with a slope of 90° has an efficient turbine blade that is very good and effective and get optimal results.

Keywords: Wind turbine, VAWT, CFD, Efficiency, Contour, Optimal, TSR, power

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang letaknya di garis khatulistiwa mempunyai sumber energi alternatif yang beragam salah satunya adalah potensi energi angin. Energi Angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat dirasakan dalam kehidupan sehari-hari. Upaya penggunaan energi angin patut didukung, karena selain mudah didapat energi angin juga merupakan energi alternative yang ramah lingkungan. Untuk mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dibutuhkan suatu alat, yaitu turbin angin (wind turbin). Turbin angin jenis horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine*) lebih banyak digunakan dan dikembangkan saat ini dibandingkan dengan turbin angin jenis vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*). Akan tetapi turbin vertikal memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan turbin angin horizontal, yaitu turbin bias bergerak tanpa tergantung pada arah angin. Karena turbin angin vertical memiliki sumbu putar vertikal sehingga pemasangan transmisi dan generatornya bias ditempatkan di ground dan bisa dengan mudah melakukan perawatan serta bisa mengurangi berat turbin [1]. Kecepatan angin di Indonesia tergolong rendah yang berkisar antara 3 m/s – 7 m/s, sehingga turbin angin vertikal dirasa cocok untuk digunakan pada kondisi kecepatan angin rendah [2].

Fokus utama pada perancangan turbin adalah bagaimana membuat turbin angin yang bisa digunakan secara optimal. Analisa turbin dapat dilakukan secara numerik maupun eksperimental. Turbin angin jenis savonius merupakan salah satu jenis turbin angin vertikal. Turbin Angin Sumbu Vertikal Savonius dikategorikan sebagai turbin angin ukuran kecil [3]. Kekuatan pendorong dasar turbin vertikal jenis savonius adalah gaya drag. Koefisien gaya drag pada permukaan cekung lebih besar dari permukaan cembung, sehingga permukaan cekung yang menghadap angin akan mengalami gaya drag lebih besar dari permukaan cembung, sehingga memaksa rotor berputar [4].



Gambar 1. Prinsip kerja turbin angin savonius [4]

Salah satu simulasi numerik yang bisa digunakan adalah menggunakan Software Computational Fluid Dynamics (CFD) yang telah dirancang sedemikian rupa, sehingga membantu dalam menyelesaikan simulasi sudu turbin vertical jenis savonius. Dengan menggunakan Software CFD, peneliti dapat menganalisis sudu turbin agar kinerja turbin semakin efisien dan efektif serta mendapatkan hasil maksimal [5].

2. METODELOGI PENELITIAN

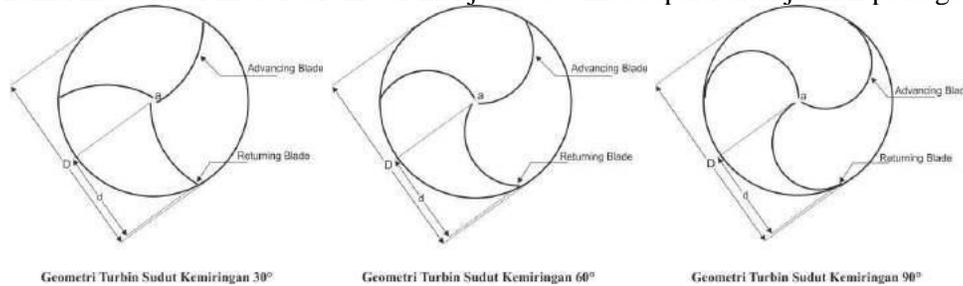
Simulasi CFD dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu menginput data ke komputer, melakukan pemodelan geometri, melakukan meshing, dan akhirnya mensimulasikan [6]. Analisa dilakukan dengan menggunakan simulasi numerik dengan pemodelan 2 dimensi, aliran fluida turbulen dengan kecepatan udaya masuk adalah konstan yaitu 3,86 m/s. Parameter dari turbin vertical jenis savonius yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Turbin vertikal jenis savonius

Diameter sudu	200 mm
Overlap distance (e)	40% of the chord length
Tebal sudu (t)	1 mm
Blade gap (a)	10% of the chord length
Sudut Kemiringa Sudu	30°, 60° dan 90°

2.1 Geometri Turbin Vertikal Jenis Savonius

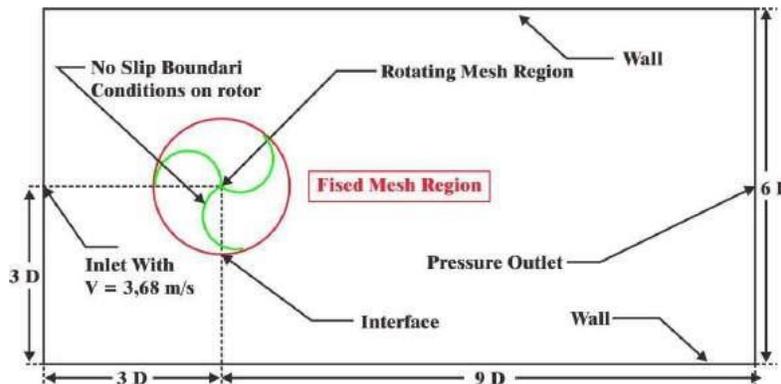
Pada tahap ini dibuat model dari turbin vertikal jenis savonius yang akan digunakan dalam simulasi numerik. Gambar model turbin vertikal jenis savonius seperti ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Geometri Turbin Vertikal jenis savonius

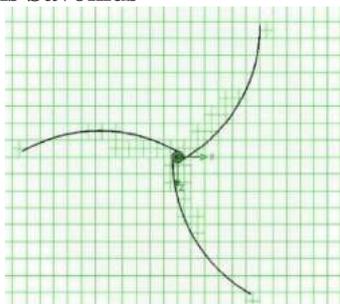
2.2 Domain Pemodelan Turbin Vertikal Jenis Savonius

Domain pemodelan komputasi berbentuk persegi panjang, dengan panjang 12 m dan lebar 6 m. Turbin vertikal savonius ditempatkan pada garis simetris dengan jarak 3 m dari sisi depan. Domain pemodelan adalah fixed domain dan rotating domain. Bagian luar dari pemodelan dijadikan fixed domain, sedangkan turbin vertikal jenis savonius dijadikan rotating domain. Domain pemodelan komputasi seperti ditunjukkan pada gambar 3. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan metode sliding mesh.



Gambar 3. Domain Pemodelan Turbin Angin Savonius

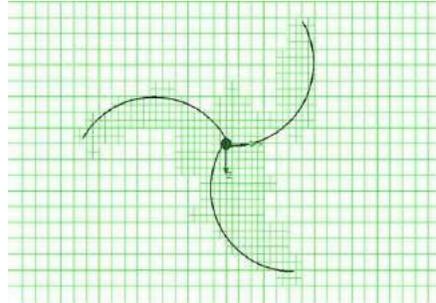
2.3 Meshing Turbin Vertikal Jenis Savonius



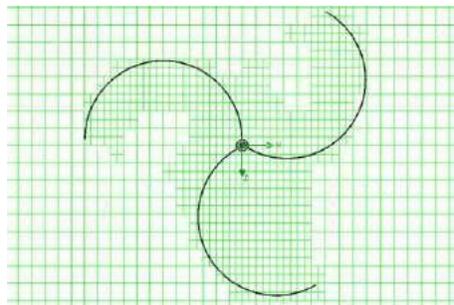
Gambar 4. Meshing pada turbin dengan sudut kemiringan sudu 30°

Proses meshing pada turbin vertikal jenis savonius yang digunakan adalah *meshing* bentuk segi empat. Pada permukaan sudu di gunakan *boundary* untuk menangkap adanya perubahan sifat fluida

yang tajam yang dekat permukaan sudu, supaya hasil yang didapat lebih akurat seperti pada gambar 4, gambar 5 dan gambar 6.



Gambar 5. Meshing pada turbin dengan sudut kemiringan sudu 60°



Gambar 6. Meshing pada turbin dengan sudut kemiringan sudu 90°

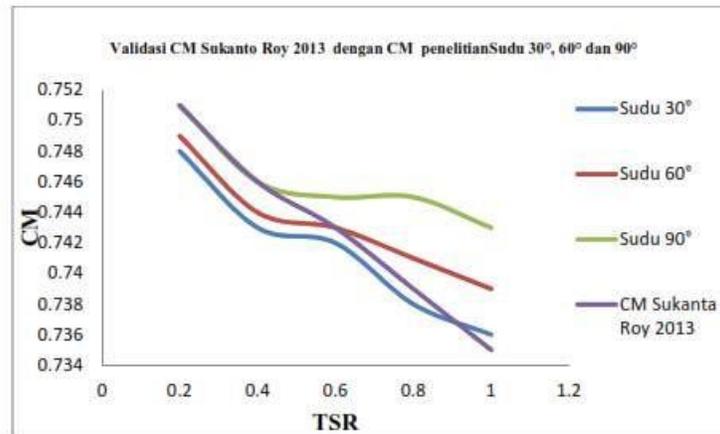
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Validasi data

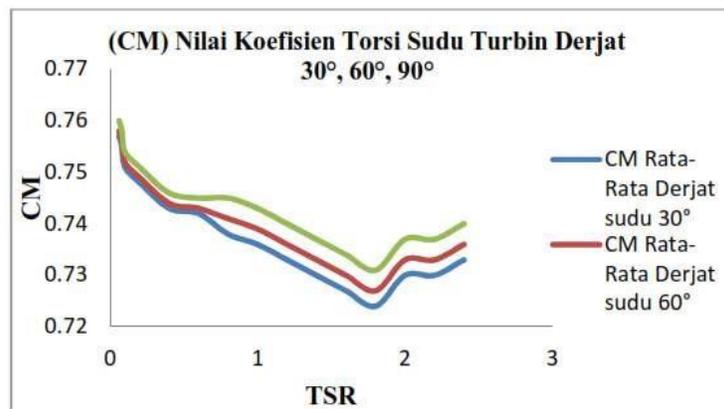
Validasi turbin vertikal jenis savonius dilakukan sebagai langkah awal untuk mesimulasikan sudu turbin yang lebih efisien dan efektif serta mendapatkan hasil yang optimal dalam mengembangkan turbin vertikal jenis savonius dengan sudut kemiringan 30° , 60° dan 90° . Proses validasi turbin vertikal dengan menggunakan geometri berdiameter 200 mm, tebal sudunya (t) 1 mm, dan Overlap distance (e) memiliki panjang 40% of the chord length, Blade gap (a) 10% dari panjang chord length, serta sudut kemiringan sudu 30° , 60° dan 90° . Model turbulensi yang digunakan adalah realizable $k-\epsilon$. Boundary pada inlet diasumsikan sebagai kecepatan udara masuk ke ruang tersebut secara konstan sebesar 13,90 Km/h. Boundary pada dinding sudu diasumsikan tidak selip. Boundary pada bagian outlet diasumsikan relative static pressure 0 Pa.

3.2 Hasil Simulasi Turbin Angin

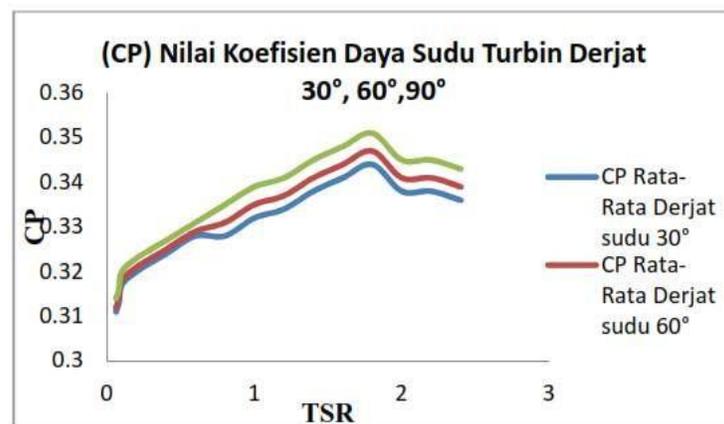
Hasil simulasi turbin angin dengan sudut kemiringan sudu sebesar 30° , 60° dan 90° berupa rata-rata nilai koefisien torsi (CM) dan koefisien daya (C_p) yang dibandingkan dengan jurnal pada $\lambda = 0,4$; 0,6; 0,8; 1,0; dan 1,2 ditunjukkan pada gambar 7. Tip Speed Ratio (TSR) merupakan perbandingan antara kecepatan putar turbin dengan kecepatan angin yang menerpa turbin.



Gambar 7. Grafik Nilai Cm (Koefisien Torsi) Turbin [7]



Gambar 9. Grafik Nilai Cm (Koefisien Torsi)



Gambar 10. Grafik Nilai Cp (Koefisien Daya)

Hasil simulasi turbin vertikal tipe savonius mempunyai nilai akurasi rata-rata nilai koefisien torsi (CM) dan koefisien daya (Cp) seperti yang ditunjukkan pada gambar 9 dan gambar 10. gambar 9 menunjukkan Grafik hubungan CM dan TSR. Grafik tersebut menunjukkan nilai CM yang cenderung menurun seiring dengan bertambahnya TSR. Pada gambar 10 dapat dilihat bahwa nilai Cp mengalami

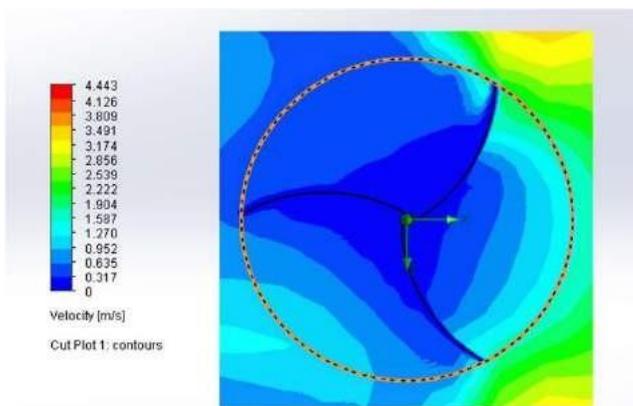
kenaikan dari TSR 1,4, 1,6, 1,8 dan puncaknya adalah pada TSR 1,8. Namun setelah TSR 1,8 nilai C_p cenderung mengalami penurunan, yaitu pada TSR 2, 2,2, 2,4. Hal ini membuktikan bahwa pemodelan sudu turbin 60° , dan 90° mengalami peningkatan dan dapat berkerja secara optimal pada TSR 1,8. Ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kinerja dari pemodelan sudu turbin 60° , dan 90° yaitu sebesar 8,89% pada kecepatan angina 3.86 m/s.

Grafik diatas menunjukkan nilai TSR tertinggi didapat pada kondisi kecepatan angin 3,86 m/s dengan sudut kemiringan sudu 90° . Dan nilai TSR terendah didapat pada kondisi kecepatan angin 3,86 m/s dengan sudut kemiringan sudu 30° . Hasil simulasi turbin vertikal jenis savonius menunjukkan bahwa semakin luas penampang yang di terpa oleh angin maka akan memberi dorongan tenaga yang lebih, hal ini tak dipengaruhi oleh losses yang besar. Sehingga turbin yang memiliki sudut kemiringan sudu 90° akan semakin banyak angin yang terjebak di dalam turbin, hal ini dikarenakan momen aliran yang terjadi secara terus menerus sehingga angin yang telah masuk ke dalam turbin akan keluar dengan lancar.

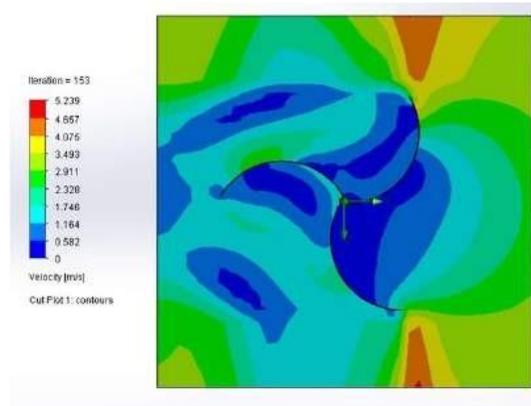
3.3 Analisa Kontur Kecepatan dan Kontur Intensitas Turbulensi Turbin Vertikal jenis savonius Dengan Sudut Kemiringan Sudu 30° , 60° , 90° .

Gambar 11 menunjukkan turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 30° memiliki area penyerapan kecepatan udara yang lebih sedikit dibanding dengan turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 60° dan 90° . Gambar 12 menunjukkan turbin angin dengan derajat kemiringan 60° memiliki area penyerapan kecepatan udara yang lebih besar dari pada turbin dengan sudut kemiringan sudu 30° .

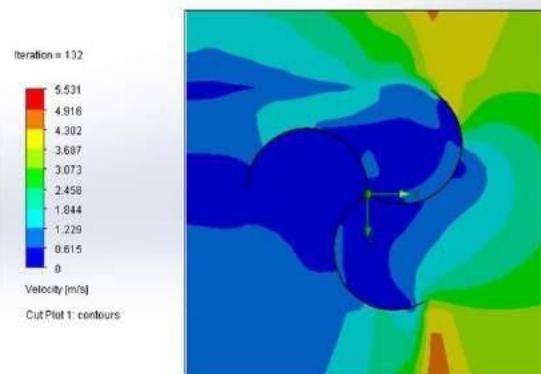
Hal ini dibuktikan besarnya kecepatan aliran udara menumbuk turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 30° memiliki warna vektor yang kurang cerah dengan demikian dapat disimpulkan bahwa aliran udara yang mengalir melewati gap kecepatannya sangat rendah, sehingga hasil analisa kontur kecepatan pada turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 30° memiliki aliran udara yang kurang efisien untuk membantu mendorong bagian returning blade. Sedangkan pada turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 60° memiliki warna vektor yang cukup dengan demikian aliran udara yang mengalir melewati gap kecepatannya lebih baik dari pada turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 30° , sehingga hasil analisa kontur kecepatan pada turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 60° memiliki aliran udara yang sedikit lebih efisien untuk membantu mendorong bagian returning blade.



Gambar 11. Hasil Kontur Kecepatan Turbin angin Sudut Kemiringan 30°



Gambar 12. Hasil Kontur Kecepatan Turbin angin Sudut Kemiringan 60°

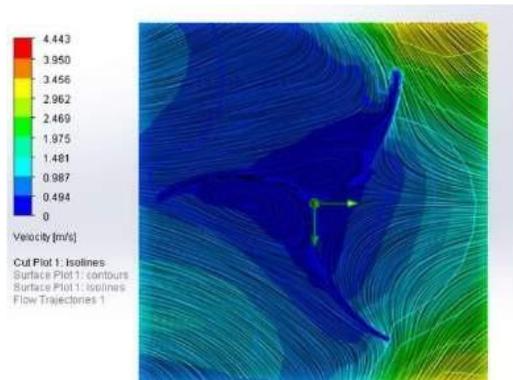


Gambar 13. Hasil Kontur Kecepatan Turbin angin Sudut Kemiringan 90°

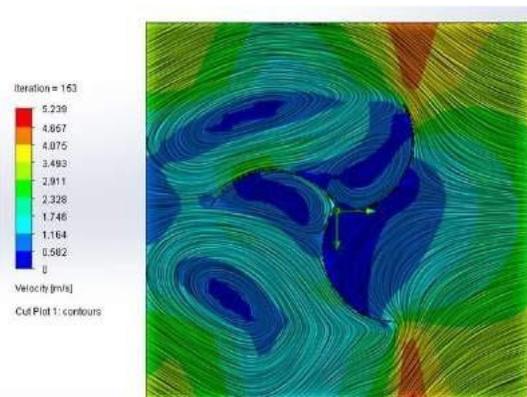
Gambar 13 menunjukkan turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 90° memiliki area penyerapan kecepatan udara yang sangat baik dibanding dengan turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 30° dan 60° . Hal ini membuktikan bahwa besarnya aliran udara menumbuk turbin dan turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 90° memiliki warna vektor yang sangat baik dengan demikian aliran udara yang mengalir melewati gap kecepatannya yang bagus, sehingga hasil analisa kontur kecepatan turbin angin sudut kemiringan 90° aliran udara lebih efisien dan lebih optimal untuk membantu mendorong bagian returning blade. Hasil analisa kontur kecepatan menunjukkan bahwa besarnya kecepatan pada saat aliran udara menumbuk turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 90° lebih efisien dan lebih optimal.

3.4 Analisa Kontur Kecepatan dan Pusaran Angin Sudut Kemiringan 30° , 60° , 90° .

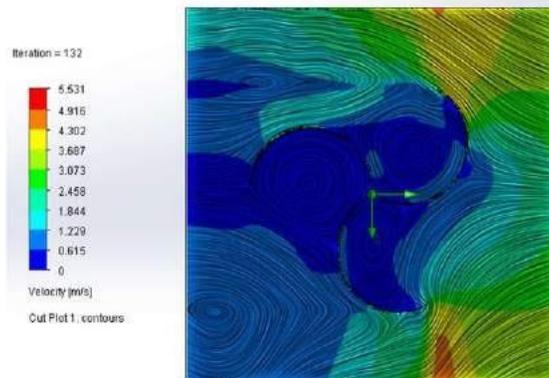
Gambar 14. menunjukkan turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 30° memiliki area penyerapan kecepatan udara dan pusaran angin yang sedikit dibanding dengan turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 60° dan 90° . Hal ini dibuktikan bahwa aliran udara yang diserap sudu cekung (*advancing blade*) memiliki distribusi kecepatan yang lebih rendah sehingga warna yang dihasilkan tidak cerah. Warna yang tidak menunjukkan penyerapan energi aliran udara yang kurang baik. Sehingga nilai C_p dan C_M dari turbin vertikal jenis savonius kurang efisien untuk mendorong blade. Turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 30° memiliki nilai C_p sebesar 0,757 dan Nilai C_M sebesar 0,311 dengan nilai C_p dan C_M yang sangat rendah mengakibatkan sudu ini kurang optimal untuk menghasilkan gaya dorong.



Gambar 14. Hasil Kontur Kecepatan dan Pusaran Angin Sudut Kemiringan 30°



Gambar 15. Hasil Kontur Kecepatan dan Pusaran Angin Sudut Kemiringan 60°



Gambar 16. Hasil Kontur Kecepatan dan Pusaran Angin Sudut Kemiringan 90°

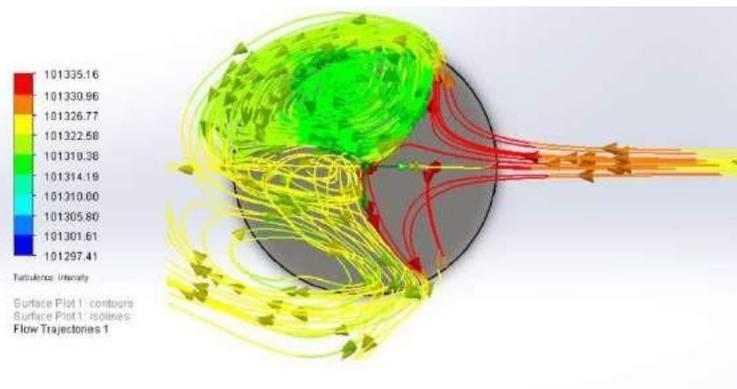
Gambar 15. Menunjukkan turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 60° memiliki area penyerapan kecepatan udara dan pusaran angin yang sedang dibanding dengan turbin angin dengan derajat kemiringan 30°, sehingga warna yang dihasilkan lebih cerah, hal ini menunjukkan penyerapan aliran udara yang baik. Sehingga nilai C_p dan C_M dari turbin angin baik dan efisien untuk mendorong blade. Turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 60° memiliki nilai C_p sebesar 0,758 dan Nilai C_M sebesar 0,312 dengan nilai C_p dan C_M yang sedang mengakibatkan sudu ini lebih baik dan lebih

optimal untuk menghasilkan gaya dorongan dibandingkan dengan C_p dan C_M pada turbin dengan sudut kemiringan sudu 30° .

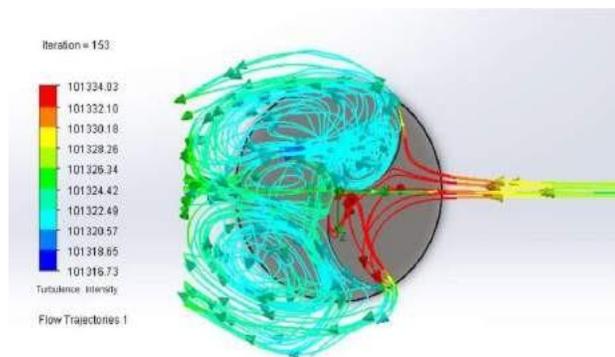
Gambar 16. menunjukkan turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 90° memiliki area penyerapan kecepatan udara dan pusaran angin yang sangat baik dibanding dengan turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 30° dan 60° . Nilai C_p dan C_M dari turbin angin vertikal jenis savonius sangan baik dan sangat efisien untuk mendorong blade. Turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 90° memiliki nilai C_p sebesar 0,760 dan nilai C_M sebesar 0,314 dengan nilai C_p Dan C_M yang tinggi mengakibatkan sudu ini sangat baik dan optimal untuk menghasilkan gaya dorong.

Gambar diatas menunjukkan bahwa warna dan pusaran angin yang berbeda yang dihasilkan dari kontur kecepatan dari ketiga tubin dengan sudut kemiringan sudu yang berbeda-beda yaitu 30° , 60° dan 90° . Semakin cerah warna kontur dan pusaran angin maka semakin besar energi angin yang dapat diserap oleh turbin.

3.5 Analisa Kontur Intensitas Turbulensi Turbin Sudut Kemiringan 30° , 60° , 90° .



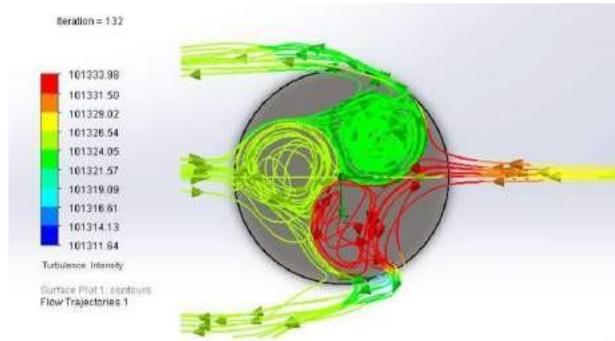
Gambar 17. Hasil Kontur Intensitas Turbulensi Sudut Kemiringan 30°



Gambar 18. Hasil Kontur Intensitas Turbulensi Sudut Kemiringan 60°

Gambar 17. menunjukkan turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 30° memiliki turbulensi udara yang kurang baik, hal ini ditandai dengan pusaran angin yang timbul tidak seimbang di dalam area sudu 30° sehingga mengakibatkan kurangnya daya dorong sudu turbin untuk memutar/mendorong blade. Gambar 18. Menunjukkan turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 60° memiliki turbulensi udara yang lebih baik dari pada turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 30° , hal ini ditandai dengan pusaran angin yang timbul seimbang di dalam area sudu 60° sehingga

mengakibatkan daya dorong sudu turbin baik untuk memutar / mendorong blade. Gambar 19. menunjukkan turbin angin dengan sudut kemiringan sudu 90° memiliki turbulensi yang sangat baik, sehingga mengakibatkan daya dorong sudu turbin sangat baik dan optimal untuk memutar/ mendorong blade.



Gambar 19. Hasil Kontur Intensitas Turbulensi Sudut Kemiringan 90°

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa pengaruh penambahan sudut kemiringan sudu turbin angin vertikal jenis savonius dengan sudut kemiringan sudu 30° , 60° dan 90° dapat disimpulkan bahwa nilai Tip Speed Ratio (TSR) pada turbin dengan sudut kemiringan sudu 90° lebih baik dari pada nilai TSR pada turbin dengan sudut kemiringan sudu 30° dan 60° . Hasil simulasi menunjukkan nilai C_p yang berbeda - beda pada turbin angin sudut kemiringan sudu yang berbeda-beda. Variasi penambahan sudut kemiringan sudu turbin vertikal jenis savonius dengan sudut kemiringan sudu 90° dapat meningkatkan efisiensi sudu turbin jika dibandingkan dengan turbin yang memiliki sudut kemiringan sudu 30° , dan 60° hal ini dibuktikan dengan hasil analisa kontur kecepatan turbin angin, analisa kontur pusaran angin dan analisa kontur intensitas turbulensi turbin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Junaidin. 2017. "Perancangan Purwarupa Vertical Axis Wind Tubine (VAWT) Skala Kecil," *Angkasa J. Ilm. Bid. Teknol.*, vol. 9, no. 2, p. 29.
- [2] A. Kurniadi. 2020. "Simulasi Perancangan Turbin Angin (VAWT) Vertical Axis Wind Turbine Terhadap 3 Sudu Dalam Mendapatkan Aliran Fluida Optimal Menggunakan Aplikasi CFD," *Universita Teuku Umar*.
- [3] B. A. Dwiyantoro, T. Yuwono, and V. Suphandani. 2016 "Structural design optimization of vertical axis wind turbine type darrieus-savonius," *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 11, no. 2, pp. 1073–1077.
- [4] S. Mathew. 2006. *Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics*. Berlin, Jerman: Springer.
- [5] E. N. Fridayana. 2018. "Aerodynamic Performance Analysis Of Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) Darrieus Type H-Rotor Using Computational Fluid Dynamics (CFD) Approach," *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- [6] ANSYS. 2013. *ANSYS FLUENT Theory Guide*. United States: ANSYS, Inc.
- [7] S. Roy and U. K. Saha. 2016. "Numerical Investigation To Assess an Optimal Blade Profile for," *ASME Int. Mech. Eng. Congr. Expo.*, vol. 6A, pp. 1–9.