

# Analisis Komputasi Fluida Dinamis Pada Sudu Spiral Turbin Angin Tipe Archimedes Dengan Variasi Jumlah Sudu Dan Kemiringan Sudu

Muhammad Ibnul Abidin<sup>1</sup>, Rosadila Febritasari<sup>2</sup>, Sibut<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin S1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang

<sup>2,3</sup>Jl. Raya Karanglo KM 2, Tasikmadu, Kec. Lowokwaru, Kota Malang. 65143

Telp : (0431)417636

Email:ibnulabidin5678@gmail.com

## ABSTRAK

Turbin angin Archimedes adalah alat yang mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik untuk memutar generator yang dapat menghasilkan listrik. Efisiensi dan performa turbin angin dipengaruhi oleh desain dan bentuk bilah turbin. Untuk turbin angin Archimedes dengan 3 sudu dan sudut bukaan  $35^\circ$  memiliki nilai CD yang besar dan nilai CL yang relatif kecil, sehingga turbin kurang optimal. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada variasi jumlah sudu turbin dan kemiringan sudu turbin untuk mendapatkan desain terbaik dengan nilai Cd, Cl, dan Cm yang optimal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa secara numerik turbin angin Archimedes dengan menggunakan computational fluid dynamics (CFD). Turbin angin Archimedes didesain dengan varian 2, 3 dan 4 blade dengan blade pitch  $45^\circ$ ,  $55^\circ$  dan  $65^\circ$ . Hasil simulasi dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS Fluent berupa koefisien drag (CD), koefisien lift (CL), koefisien momen (Cm), dan pola aliran pada kecepatan angin 7 m/s. Dari hasil simulasi didapatkan nilai Cd terkecil pada kemiringan sudu  $65^\circ$  sebesar -2.1758, nilai Cl terbesar pada kemiringan sudu  $45^\circ$  sebesar 0.37232, dan nilai Cm terbesar pada kemiringan sudu  $65^\circ$  sebesar 0.6127938. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa turbin angin Archimedes dengan 4 sudu dan pitch  $65^\circ$  adalah yang paling optimal.

Kata Kunci : turbin angin, CFD, archimedes, sudu,  $C_D$ ,  $C_L$ ,  $C_m$

## ABSTRACT

*The Archimedes wind turbine is a device that converts the kinetic energy of the wind into mechanical energy to turn a generator that can produce electricity. The efficiency and performance of wind turbines are affected by the design and shape of the turbine blades. For the Archimedes wind turbine with 3 blades and an opening angle of  $35^\circ$ , the CD value is large and the CL value is relatively small, making the turbine less optimal. Therefore, this research focuses on variations of the number of turbine blades and the inclination of the turbine blades to obtain the best design with optimal Cd, Cl and Cm values. The purpose of this research is to numerically analyze the Archimedes wind turbine using computational fluid dynamics (CFD). The Archimedes wind turbine is designed with 2, 3 and 4 blade variants with blade pitch of  $45^\circ$ ,  $55^\circ$  and  $65^\circ$ . Simulation results using ANSYS Fluent software are available in the form of drag coefficient (CD), lift coefficient (CL), moment coefficient (Cm), and flow patterns at a wind speed of 7 m/s. From the simulation results, the smallest Cd value at the  $65^\circ$  pitch of the blade is -2.1758, the largest Cl value at the  $45^\circ$  pitch of the blade is 0.37232, and the largest Cm value at the  $65^\circ$  pitch of the blade is 0.6127938. Therefore, it can be concluded that the Archimedes wind turbine with 4 blades and  $65^\circ$  pitch is the optimal.*

**Key Word :** wind turbine, CFD, archimedes, blade,  $C_D$ ,  $C_L$ ,  $C_m$

## PENDAHULUAN

Energi telah menjadi masalah dunia dalam beberapa tahun kedepan, karena sumber energi yang selama ini digunakan seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui dan semakin lama semakin langka. Permasalahan ini mendorong banyak teknisi dan ilmuwan untuk menggunakan energi pada sumber energi yang tidak terbatas atau bisa disebut sumber energi baru dan terbarukan, seperti energi angin.

Energi baru dan terbarukan (EBT) adalah pengganti energi konvensional. Energi terbarukan merupakan energi yang tidak bergantung pada kuantitas karena berasal dari alam yang berkelanjutan. Energi angin merupakan salah satu EBT yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi dengan bantuan turbin angin atau kincir angin. Energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin angin dapat digunakan secara langsung atau dikonversi menjadi energi listrik (Tuapetel J.V et al, 2019).

Energi angin menjadi sumber energi alternatif dan sumber energi terbarukan. Indonesia, sebagai negara kepulauan, memiliki wilayah pesisir yang berpotensi untuk pengembangan energi angin. Sebagai sumber energi terbarukan, jelas bahwa energi ini memiliki keunggulan karena angin tidak akan habis tidak seperti bahan bakar fosil.

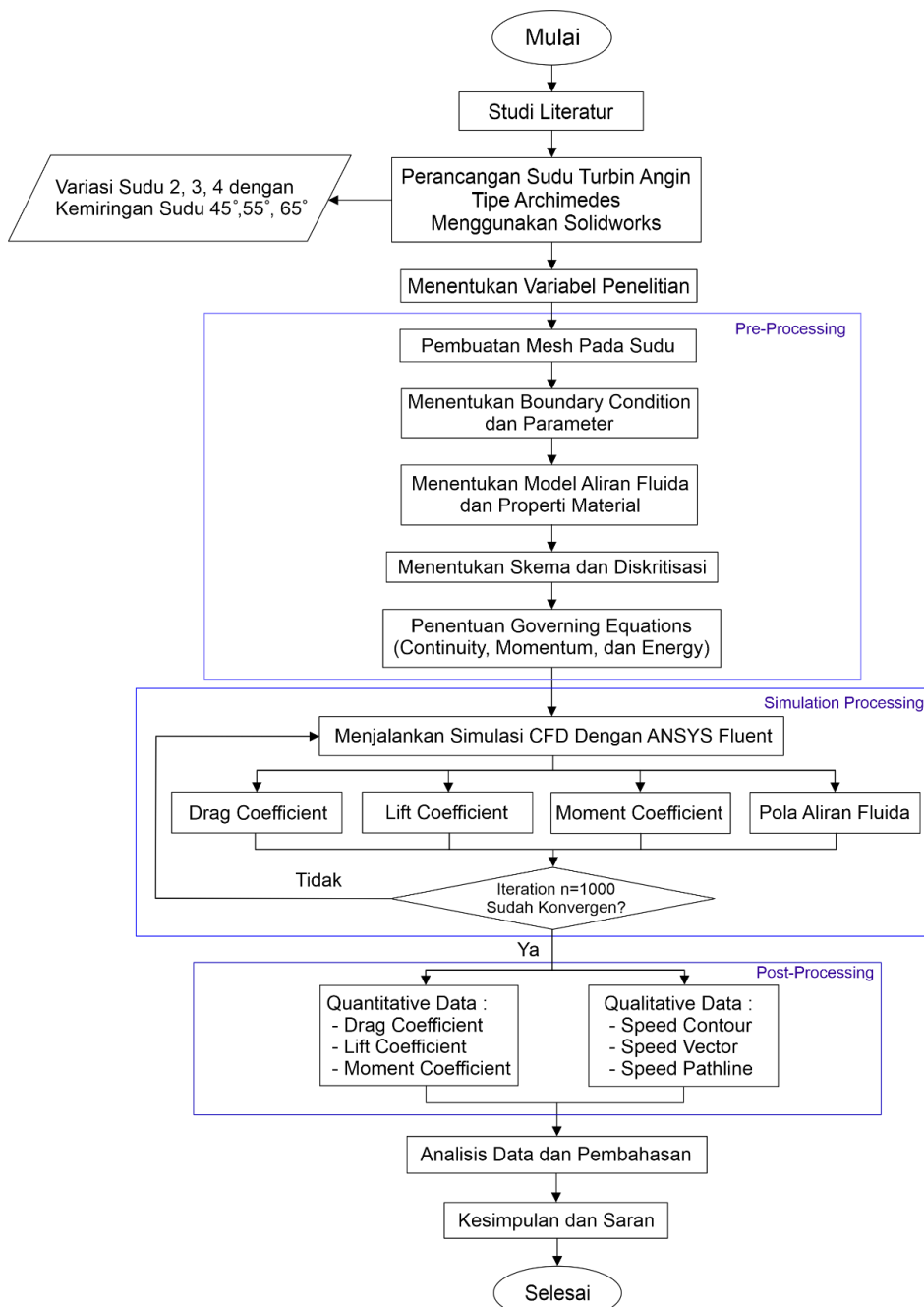
Energi angin juga merupakan sumber energi yang ramah lingkungan yang penggunaannya tidak menimbulkan emisi gas buang atau polusi yang signifikan. (Effendi A. et al, 2019).

Beberapa inovasi turbin angin telah dikembangkan, salah satunya adalah turbin angin Archimedes. Pada penelitian sebelumnya, model turbin angin Archimedes difabrikasi dengan jumlah sudu sebanyak 3 buah dengan variasi sudut 35°, 45° dan 65°, kemudian dilakukan simulasi CFD dengan kecepatan aliran 15 m/s, sehingga didapatkan koefisien drag tertinggi pada sudut bukaan 35° dan koefisien lift tertinggi pada sudut bukaan 65°, sedangkan pada sudut 45° hasil CD dan CL relatif sama, agar turbin angin dapat beroperasi secara optimal tentunya perlu dilakukan perancangan desain turbin angin Archimedes yang optimal dengan menambah variasi jumlah sudu dan pitch sudu, yang kemudian dilakukan simulasi perhitungan aliran dinamis dengan menggunakan software Ansys. (Eva H. Dkk, 2022).

Pada penelitian ini, desain turbin angin Archimedes dibuat terlebih dahulu dengan menggunakan perangkat lunak SolidWork. Kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak Ansys untuk mengetahui nilai koefisien drag, koefisien lift dan koefisien momen untuk berbagai variasi jumlah sudu dan kemiringan sudu turbin untuk mendapatkan desain turbin angin yang optimal.

**METODE PENELITIAN**

Diagram Alir



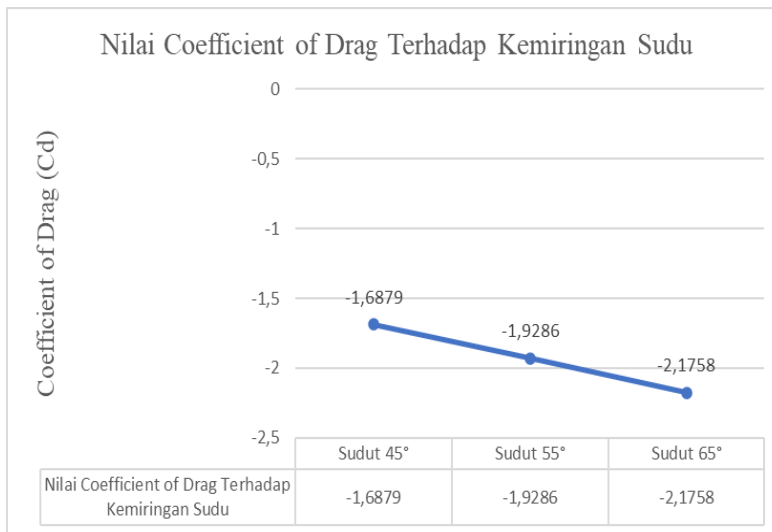
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

**ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

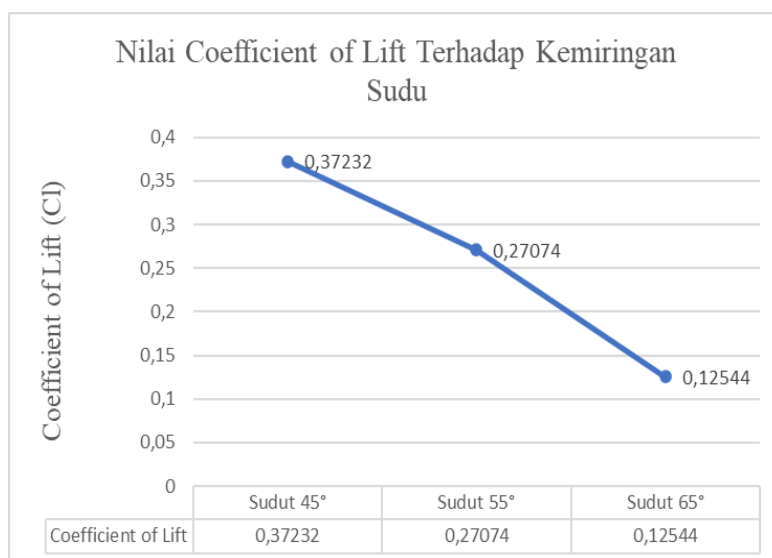
Simulasi dilakukan pada 9 desain turbin angin Archimedes yang berbeda. Melalui perbedaan sudut bukaan sudu turbin dan jumlah sudu turbin akan dianalisis *drag coefficient*, *lift coefficient* dan *moment coefficient* dengan kecepatan udara 7 m/s.

Tabel 1. Nilai *Coefficient of Drag* dan *Coefficient of Lift*

No	Kemiringan Sudu Spiral	Coefficient of Drag	Coefficient of Lift
1.	Sudut 45°	-1,6879	0,37232
2.	Sudut 55°	-1,9286	0,27074
3.	Sudut 65°	-2,1758	0,12544



Gambar 1. Grafik Nilai *Coefficient of Drag* Terhadap Kemiringan Sudu

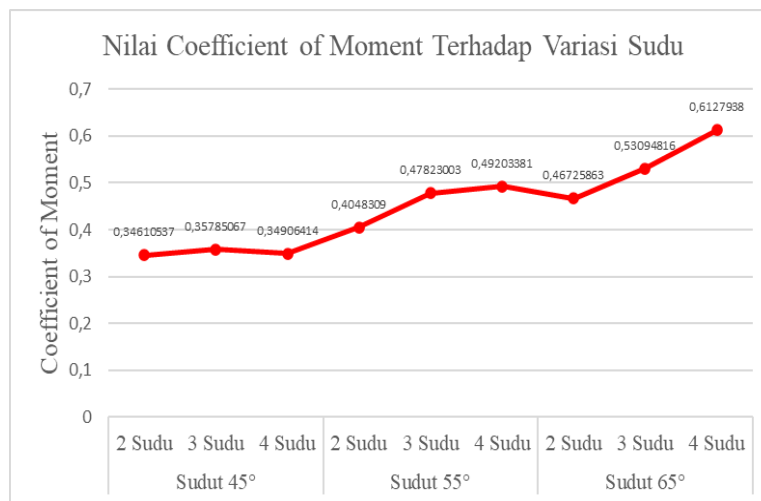


Gambar 2. Grafik Nilai *Coefficient of Lift* Terhadap Kemiringan Sudu

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai Cd terkecil adalah untuk sudu spiral dengan sudut 65° dan nilai Cl tertinggi adalah untuk sudu spiral dengan sudut 45°. Untuk turbin angin Archimedes dengan sudut sudu yang kecil, aliran bebas yang tidak terganggu dapat melewati sudu dengan lebih mudah dibandingkan dengan sudut sudu yang besar. Oleh karena itu, turbin angin Archimedes dengan sudut bilah yang besar memiliki efek pemblokiran udara yang lebih kuat daripada rotor dengan sudut bilah yang kecil, dan efek pemblokiran yang lebih kuat memaksa lebih banyak fluida mengalir melalui daerah bilah spiral turbin. Nilai Cd positif berarti hambatan, dan nilai Cd negatif berarti akselerasi. Dapat disimpulkan bahwa sudu spiral dengan kemiringan 65° memiliki akselerasi terbaik karena nilai Cd paling kecil.

Tabel 2. Nilai *Coefficient of Moment*

No	Kemiringan Sudu Spiral	Jumlah Sudu	Moment Coefficient
1.	Sudut 45°	2 Sudu	0,34610537
		3 Sudu	0,35785067
		4 Sudu	0,34906414
2.	Sudut 55°	2 Sudu	0,4048309
		3 Sudu	0,47823003
		4 Sudu	0,49203381
3.	Sudut 65°	2 Sudu	0,46725863
		3 Sudu	0,53094816
		4 Sudu	0,6127938

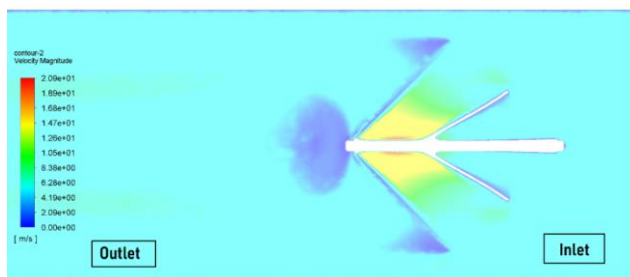


Gambar 3. Grafik Nilai Coefficient of Moment Terhadap Variasi Sudu

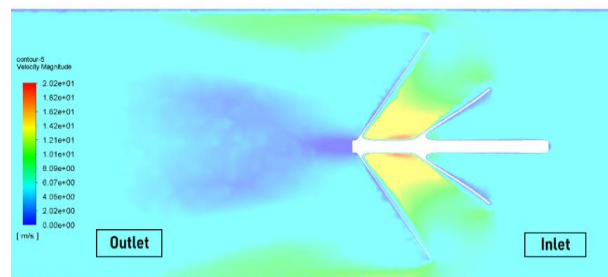
Tabel 2 menunjukkan nilai  $C_m$  terkecil ketika memvariasikan 2 bilah spiral dengan pitch 45° dan nilai  $C_m$  terbesar ketika memvariasikan 4 bilah spiral dengan pitch 65°. Besarnya nilai  $C_m$  cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah sudu dan sudut bukaan sudu. Nilai koefisien momen ( $C_m$ ) yang kecil berarti torsi putar yang dihasilkan turbin kecil, sedangkan nilai koefisien momen ( $C_m$ ) yang besar berarti torsi putar yang dihasilkan turbin besar, sehingga turbin memiliki performa yang baik.

➤ **Speed Countour Pada Sudu Spiral Turbin**

Berikut adalah perbandingan *Speed Countour* Pada Variasi Sudu Turbin :

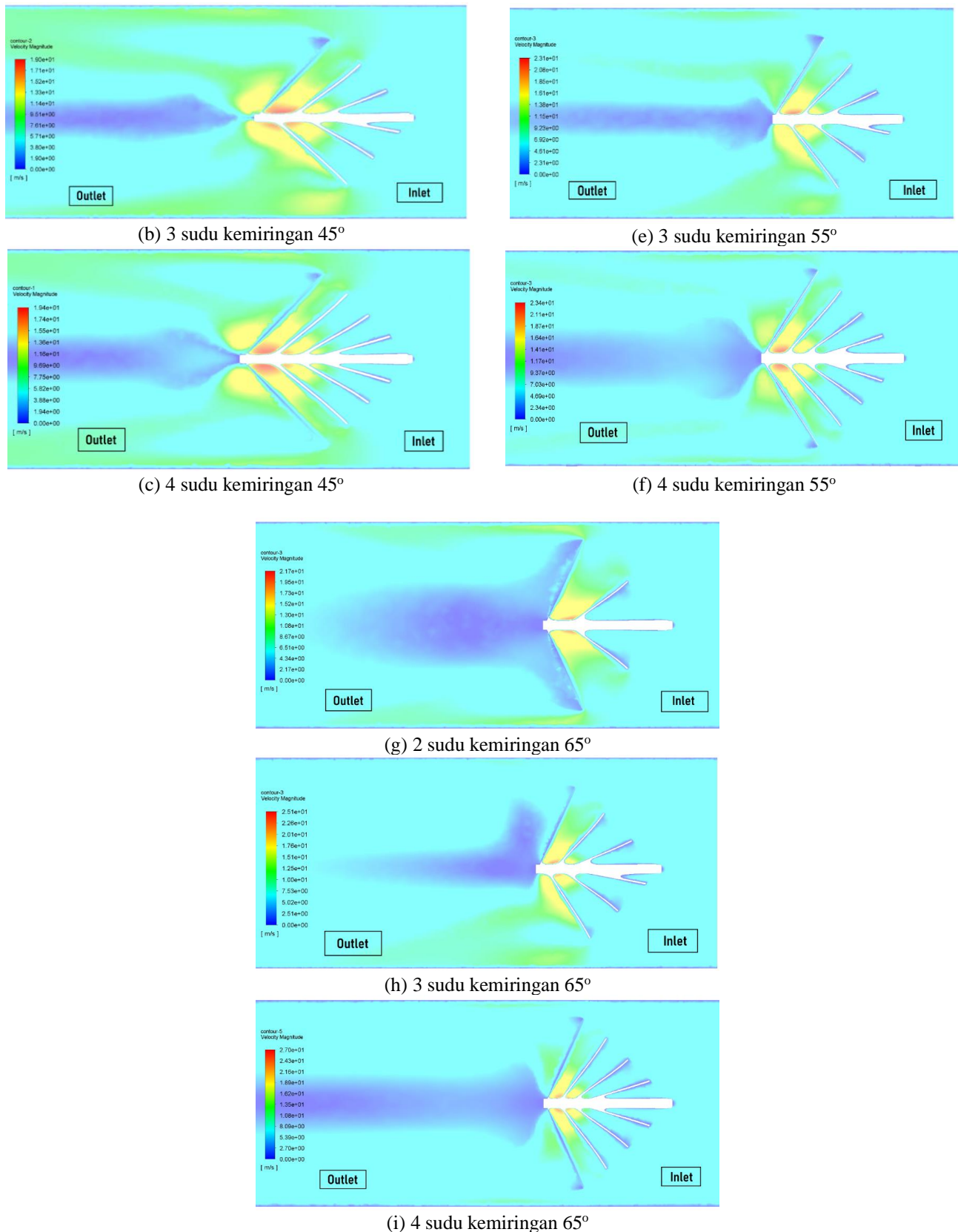


(a) 2 sudu kemiringan 45°



(d) 2 sudu kemiringan 55°

ANALISIS KOMPUTASI FLUIDA DINAMIS PADA SUDU SPIRAL TURBIN ANGIN TIPE ARCHIMEDES DENGAN VARIASI JUMLAH SUDU DAN KEMIRINGAN SUDU



Gambar 4. Perbandingan *Speed Countour* pada sudu spiral turbin

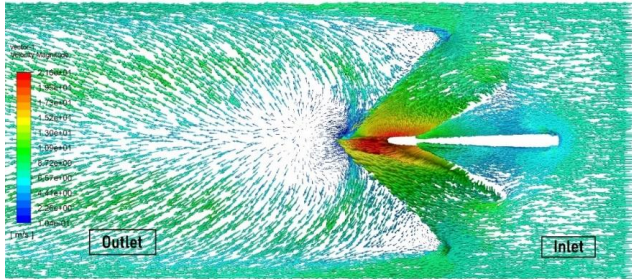
Pada gambar 14 menunjukkan daerah *Velocity Countour* yang mana warna merah pada gambar menunjukkan terjadinya peningkatan kecepatan aliran udara sedangkan warna biru tua menunjukkan penurunan kecepatan aliran udara. Gambar 14 (a), (d), (g) menunjukkan kecepatan udara tertinggi sebesar 20,9 m/s. 20,2 m/s. 21,7 m/s pada poros turbin. Gambar 14 (b), (e), (h) menunjukkan kecepatan udara tertinggi sebesar 19 m/s. 23,1 m/s. 25,1 m/s pada poros turbin.



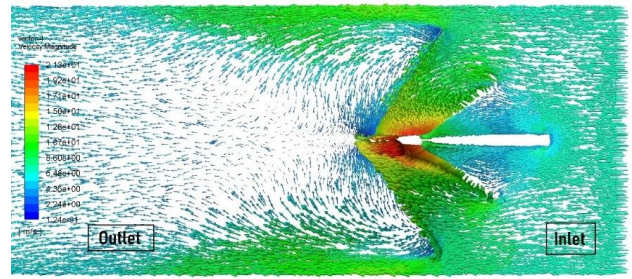
Gambar 14 (c), (f), (i) menunjukkan kecepatan udara tertinggi sebesar 19,4 m/s. 23,4 m/s. 27 m/s pada poros turbin. Peningkatan kecepatan aliran udara dikarenakan udara ditangkap oleh bilah sudu spiral turbin sehingga berkumpul pada daerah tengah rotor dengan diikuti peningkatan kecepatan, yang ditunjukkan oleh *countour speed* yang berwarna merah. Selain itu, daerah kecepatan tertinggi muncul di dekat ujung rotor turbin, sedangkan daerah kecepatan terendah muncul di belakang hub sehingga terjadi turbulensi di daerah ini.

➤ **Speed Vector Pada Sudu Spiral Turbin**

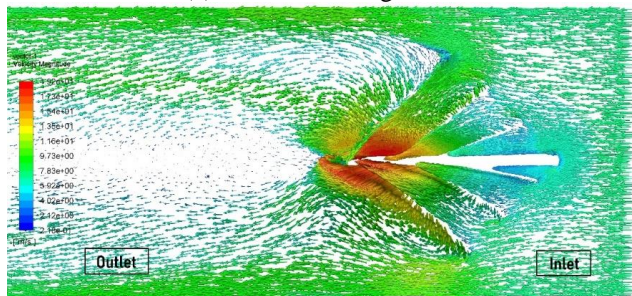
Berikut adalah perbandingan *Speed Vector* Pada Variasi Sudu Turbin :



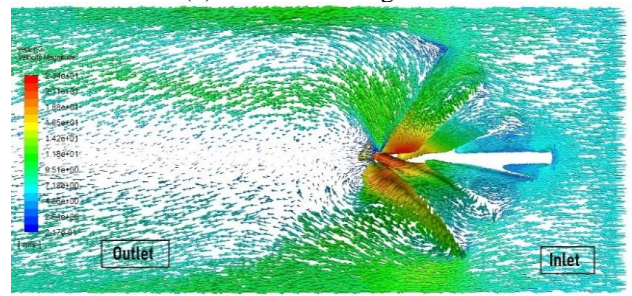
(a) 2 sudu kemiringan 45°



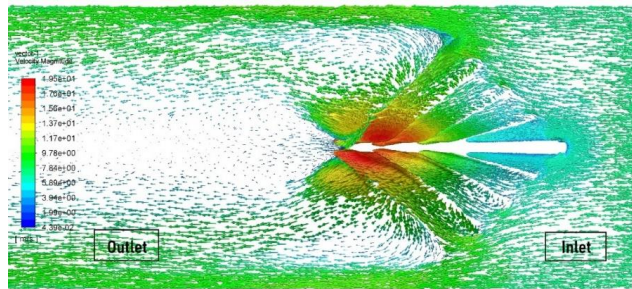
(d) 2 sudu kemiringan 55°



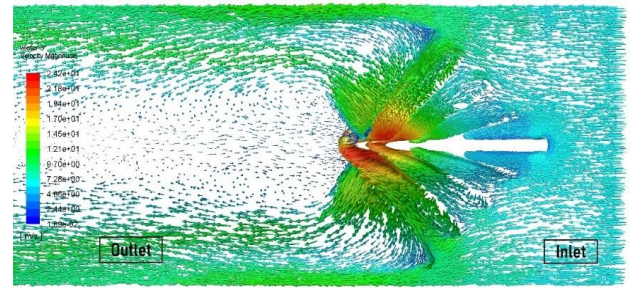
(b) 3 sudu kemiringan 45°



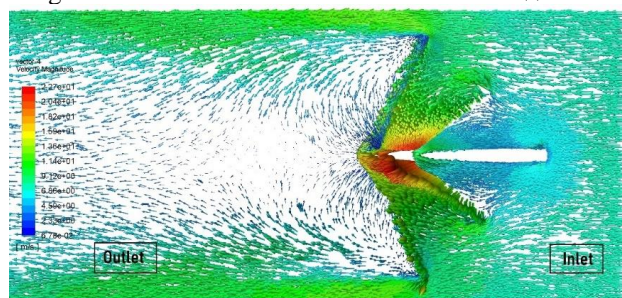
(e) 3 sudu kemiringan 55°



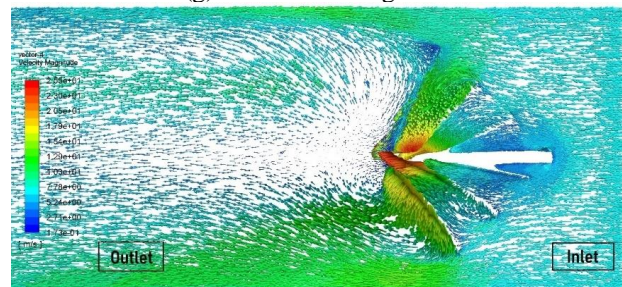
(c) 4 sudu kemiringan 45°



(f) 4 sudu kemiringan 55°

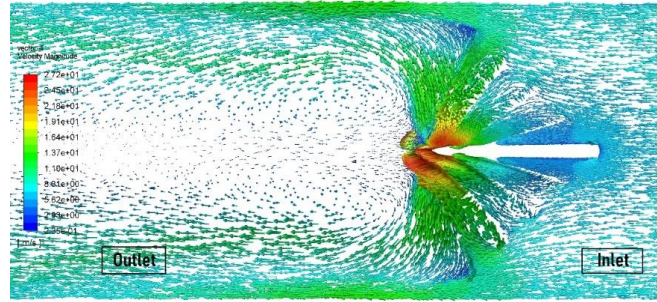


(g) 2 sudu kemiringan 65°



(h) 3 sudu kemiringan 65°





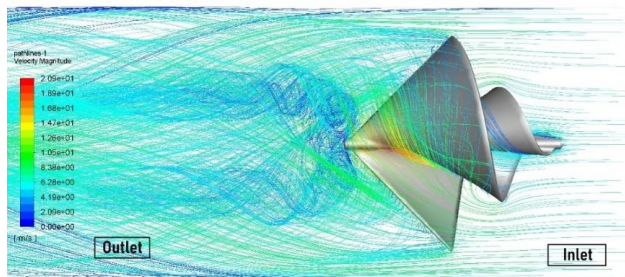
(i) 4 sudu kemiringan 65°

Gambar 15. Perbandingan *Speed Vector* pada sudu spiral turbin

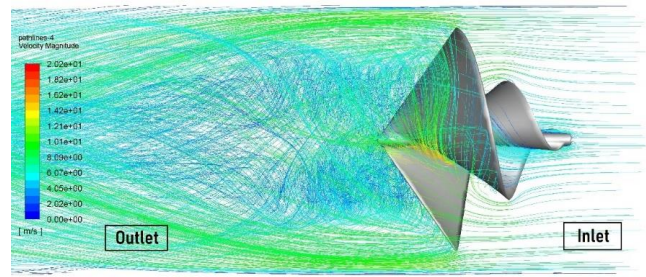
Pada gambar 15 *Velocity vector* menunjukkan arah aliran udara dari inlet menuju outlet melewati sudu turbin. Vektor warna merah menunjukkan peningkatan kecepatan udara, dan vektor warna biru tua menunjukkan penurunan kecepatan udara. Gambar 15 (a), (d), (g) menunjukkan *vector speed* terendah adalah 0,104 m/s, 0,124 m/s, 0,0678 m/s dan *vector speed* tertinggi adalah 21,6 m/s, 21,3 m/s, 22,7 m/s dan terlihat adanya turbulensi di belakang blade dalam jumlah kecil. Gambar 15 (b), (e), (h) menunjukkan *vector speed* terendah adalah 0,216 m/s, 0,217 m/s, 0,173 m/s dan *vector speed* tertinggi adalah 19,2 m/s, 23,4 m/s, 25,5 m/s. Gambar 15 (c), (f), (i) menunjukkan *vector speed* terendah adalah 0,0439 m/s, 0,0189 m/s, 0,235 m/s, *vector speed* tertinggi adalah 19,5 m/s, 24,2 m/s, 27,2 m/s, dan terlihat adanya turbulensi di belakang blade dalam jumlah kecil dan *reverse flow* yang ditunjukkan arah vektor kembali ke inlet, hal ini diakibatkan oleh efek pembentukan arah aliran udara setelah melewati sudu spiral turbin secara berkala. Hal serupa juga terjadi pada penelitian yang dilakukan Song K yaitu muncul aliran turbulen di daerah belakang sudu.

➤ **Speed Pathlines Pada Sudu Spiral Turbin**

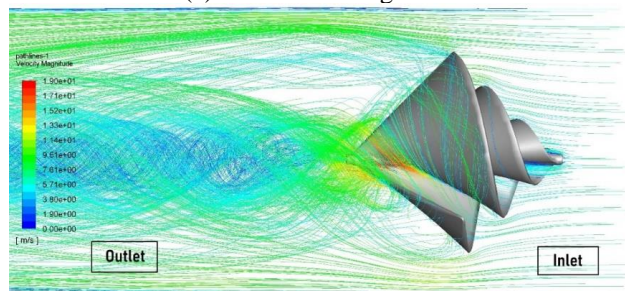
Berikut adalah perbandingan *Speed Pathlines* Pada Variasi Sudu Turbin :



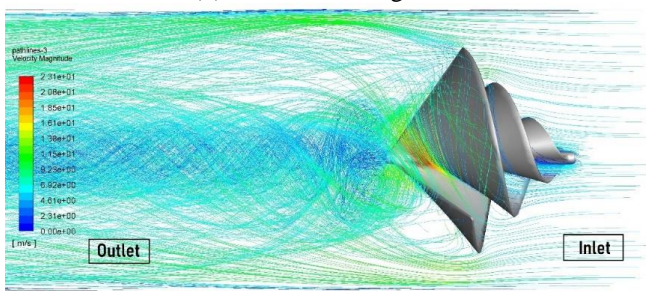
(a) 2 sudu kemiringan 45°



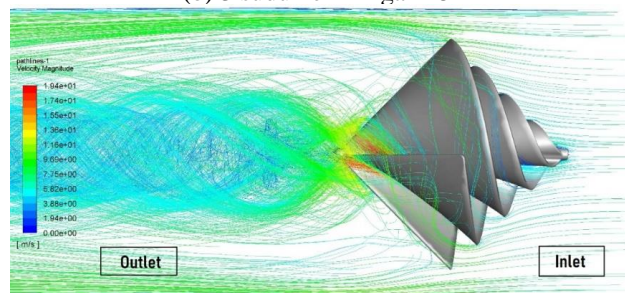
(d) 2 sudu kemiringan 55°



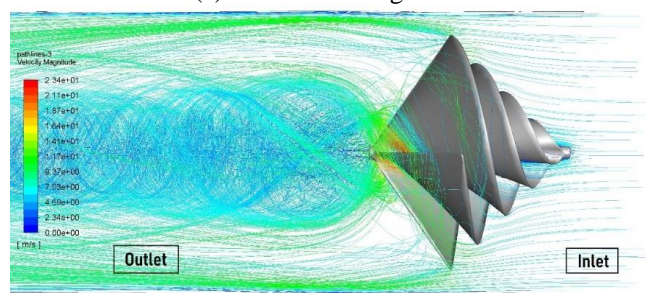
(b) 3 sudu kemiringan 45°



(e) 3 sudu kemiringan 55°

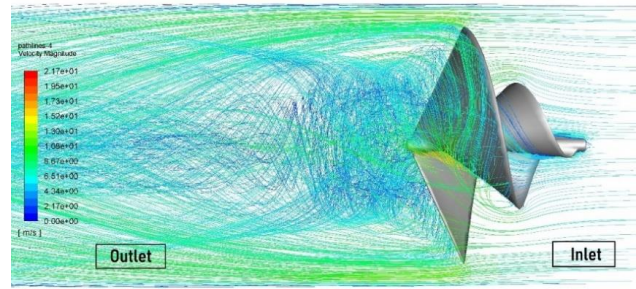


(c) 4 sudu kemiringan 45°

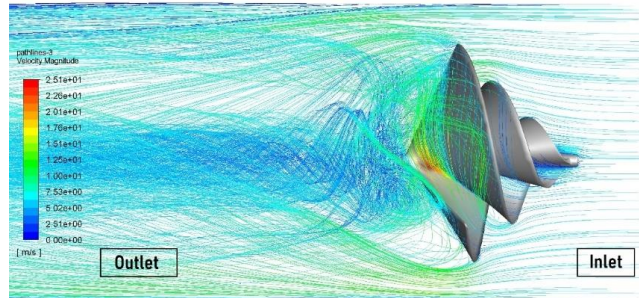


(f) 4 sudu kemiringan 55°

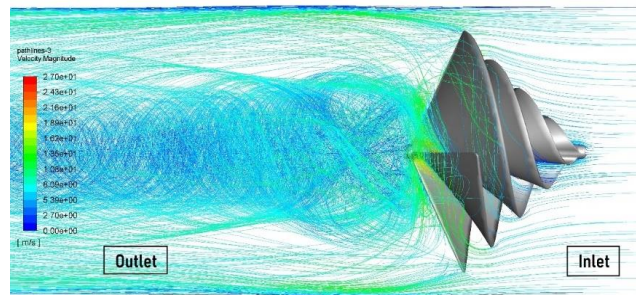




(g) 2 sudu kemiringan 65°



(h) 3 sudu kemiringan 65°



(i) 4 sudu kemiringan 65°

Gambar 5. Perbandingan *Speed Pathlines* pada sudu spiral turbin

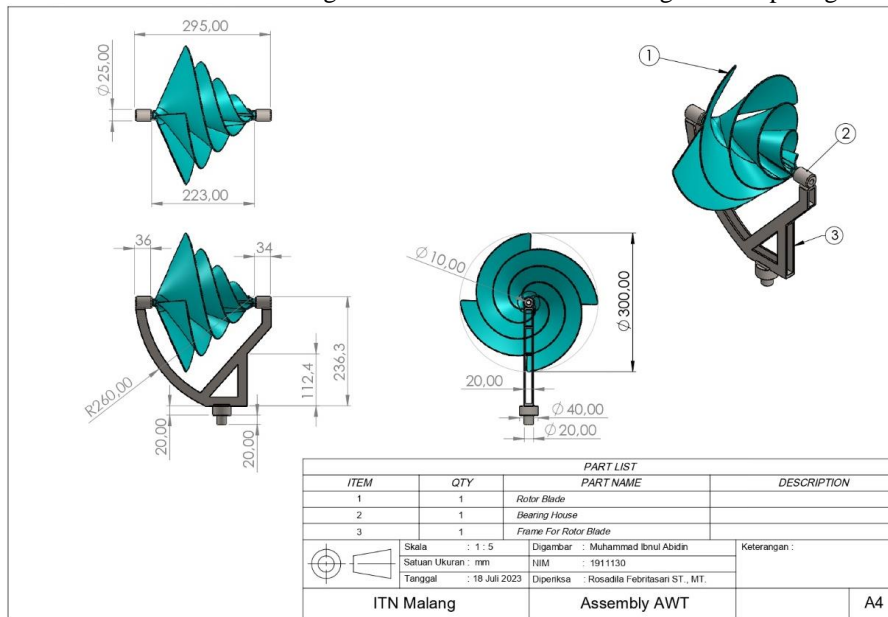
Pada gambar 16 menunjukkan *Velocity Pathlines* yang merupakan analisis pola rekam jejak aliran fluida dari inlet melewati turbin menuju outlet. *Pathline speed* berwarna merah menunjukkan peningkatan kecepatan aliran udara, dan *Pathline Speed* berwarna biru tua terjadi penurunan kecepatan aliran udara. Gambar 16 (a), (d), (g) *Pathline Speed* tertinggi adalah 20,9 m/s. 20,2 m/s. 21,7 m/s dan pada variasi ini terjadi pemisahan aliran udara menjadi 2 bagian setelah melewati sudu turbin. Gambar 16 (b), (e), (h) menunjukkan *Pathline Speed* tertinggi yaitu 19 m/s. 23,1 m/s. 25,1 m/s dan pada turbin ini aliran udara lebih stabil. Gambar 16 (c), (f), (i) menunjukkan *Pathline Speed* tertinggi adalah 19,4 m/s. 23,4 m/s. 27 m/s dan pada turbin ini pola aliran udara lebih stabil dari gambar 16 (b). Perbedaan pola aliran fluida disebabkan oleh bentuk spiral sudu dan jumlah sudu spiral turbin angin Archimedes.

No	Kemiringan Sudu	Jumlah Sudu	<i>Countour Speed</i> (m/s)		<i>Vector Speed</i> (m/s)		<i>Pathline Speed</i> (m/s)	
			Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks
1.	Sudut 45°	2 Sudu	0	20,9	0,104	21,6	0	20,9
		3 Sudu	0	19	0,216	19,2	0	19
		4 Sudu	0	19,4	0,0439	19,5	0	19,4
2.	Sudut 55°	2 Sudu	0	20,2	0,124	21,3	0	20,2
		3 Sudu	0	23,1	0,217	23,4	0	23,1
		4 Sudu	0	23,4	0,0189	24,2	0	23,4
3.	Sudut 65°	2 Sudu	0	21,7	0,0678	22,7	0	21,7
		3 Sudu	0	25,1	0,173	25,5	0	25,1
		4 Sudu	0	27	0,235	27,2	0	27



➤ **Desain Manufaktur Turbin**

Dari hasil simulasi 9 variasi desain turbin angin Archimedes, maka diperoleh desain turbin dengan performa paling baik yaitu turbin angin Archimedes 4 sudu kemiringan 65° dengan nilai  $C_d = -2,1758$  nilai  $C_l = 0,12544$  dan nilai  $C_m = 0,6127938$  sedangkan nilai *Countour Speed* = 27 m/s, *Vector Speed* = 27,2 m/s, dan *Pathline Speed* = 27 m/s. Oleh karena itu dibuatlah desain manufaktur turbin angin Archimedes 4 sudu kemiringan 65° seperti gambar berikut.



**KESIMPULAN**

Variasi kemiringan sudu spiral turbin angin Archimedes mempengaruhi nilai *Coefficient of Drag* ( $C_d$ ) dan *Coefficient of Lift* ( $C_l$ ), semakin kecil sudut bukaan sudu spiral maka nilai  $C_d$  dan  $C_l$  semakin meningkat, dapat dilihat pada sudu spiral kemiringan 45° memiliki nilai  $C_d$  dan  $C_l$  paling besar yaitu  $C_d = -1,6879$  dan  $C_l = 0,37232$  sedangkan penurunan  $C_d$  dan  $C_l$  terjadi pada sudu spiral kemiringan 65° dengan nilai  $C_d = -2,1758$  dan  $C_l = 0,12544$ .

Besarnya *Coefficient of Moment* berbeda pada masing-masing variasi turbin dan mengalami peningkatan dan penurunan nilai  $C_m$ , Pada kemiringan sudu spiral 45° terjadi penurunan nilai *Coefficient of Moment* pada turbin dengan 4 buah sudu dengan nilai  $C_m = 0,34906414$  dan terjadi peningkatan pada variasi 3 sudu kemiringan 45° dengan nilai  $C_m = 0,35785067$ . Sedangkan pada variasi turbin dengan kemiringan sudu 55° dan 65° nilai *Coefficient of moment* meningkat seiring bertambahnya jumlah sudu spiral turbin. *Coefficient of Moment* tertinggi dicapai pada turbin angin dengan variasi 4 sudu kemiringan 65° dengan nilai  $C_m = 0,6127938$ .

Pada variasi turbin dengan 2 buah sudu terjadi pemisahan aliran fluida menjadi 2 bagian dapat dilihat pada *pathline speed*. Bentuk pola aliran fluida yang dihasilkan turbin meliputi *Countour Speed*, *Vector Speed*, dan *Pathline Speed* berbeda-beda dipengaruhi oleh perbedaan kemiringan sudu spiral turbin dan jumlah sudu pada turbin.

**SARAN**

Setelah dilakukan penelitian penulis ingin menyampaikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Untuk penelitian selanjutnya bisa ditambah variasi kecepatan angin
2. Untuk penelitian selanjutnya bisa membuat *prototype* turbin angin Archimedes agar bisa dilakukan pengujian laboratorium
3. Lebih memperhatikan parameter yang dimasukkan pada simulasi Ansys Fluent agar hasil yang didapatkan lebih akurat.

**REFERENSI**

[1] J. Victor Tuapetel, Ikkal Arif Triprayoga, Putu M. Santika, Program Studi Teknik Mesin ITI. 2019. “Analisis dan pengujian kinerja turbin angin Savonius 4 sudu.”

[2] A Effendi, M Novriyanti, AY Dewi, AMN Putra , Teknik Elektro, 2019. “Analisa Pengaruh Jumlah Blade Terhadap Putaran Turbin Pada Pemanfaatan Energi Angin di Pantai Ujung Batu Muaro Penjalinan.”

[3] Nakhoda, Yusuf I. Choirul Shaleh, 2017. “Pembangkit Listrik Tenaga Angin Sumbu Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga di Daerah Pesisir Pantai”. *Industri Inovatif* Vol. 7, No. 1.

[4] Eva H, Widiyanto Agung S, Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe, Cepu, 2022. “*Simulation of Opening Angle of Archimedes Wind Turbine Design Based on the Fibonacci Series.*”

[5] Abdul Salam Ansari, Tanweer Hussain, Arshad Hussain, Intizar Ali, *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 2021. “*Efficiency Analysis of Archimedes Wind Turbine Using CFD Technique*”

- [6] Ke Song, Huiting Huan, Yuchi Kang, Kunming University, China, 2023. "*Aerodynamic Performance and Wake Characteristics Analysis of Archimedes Spiral Wind Turbine Rotors with Different Blade Angle*"
- [7] Philip J. Pritchard-Fox and McDonald's, United States of America, 2011. "*Introduction to Fluid Mechanics*" (8th Edition)
- [8] H. Versteeg, W. Malalasekera, United Kingdom, 2007. "*An Introduction to Computational Fluid Dynamics\_ The Finite Volume Method*" (2nd Edition)
- [9] Natayuda, G. 2017. "Analisa Aerodinamika dan Kinerja Turbin Angin Tipe Sumbu Horizontal Menggunakan *Computational Fluid Dynamic*"
- [10] Zulhasbin, H. 2021. "Analisa Numerik Turbin Angin Horizontal Kapasitas 30 Watt Menggunakan Software Ansys"
- [11] Ebrahimi, Sahand, 2018, "*Numerical Aerodynamics Analysis of the of the Archimedes Screw Wind Turbine*". International Journal Of Multidisciplinary Sciences and Engineering, Vol. 9, No. 10.
- [12] Simanjuntak, Josua N., Stanley Tangkuman, Irfan Rondonuwu, 2020. "Simulasi Pengaruh Jumlah dan Panjang Sudu Terhadap Daya Turbin Angin Tipe Poros Horizontal". Jurnal Online Poros Teknik Mesin Vol. 10 No. 1