

Simulasi Numerik Pengaruh *Aspect Ratio* dan Sudut Serang Terhadap Performa Turbin Angin Sumbu Vertikal H-Rotor

Diniar Mungil Kurniawati*, Jordan Michael Sukanda

Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Kalimantan

Km.15, Karang Joang, Kec. Balikpapan Utara, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur 76127

*E-mail: diniarmungil@lecturer.itk.ac.id

Abstract

The vertical axis wind turbine is a wind turbine which is rotational axis is perpendicular to the ground surface. The H-rotor vertical axis wind turbine has a number of design parameters that can affect the performance of wind turbines. In this study discussed the effect of aspect ratio (H/D) and angle of attack on the performance of H-rotor wind turbine. Variations on the aspect ratio (H/D) used are 0,64 and 1,56 on the angle of attack is 0° and 5° , the type of airfoil NACA0015. The study method used is a numerical simulation of H-rotor wind turbines with computational fluid dynamics 3 dimension. The wind speed utilized for simulation pupose was 3 m/s. Variations on the Tip speed ratio used are 3; 3,5 and 4 so that produced angular velocity at aspect ratio (H/D) 0,64 are 14,4; 16,8 and 19,2 while at aspect ratio (H/D) 1,56 are 22,5; 26,25 and 30. Results from this study that the H-rotor vertical axis wind turbine with variations on aspect ratio (H/D) 0,64 has variation in the power coefficient (C_p) value better than the aspect ratio (H/D) 1,56. That is the power coefficient (C_p) value includes 0,388; 0,445 and 0,378 on the angle of attack 0° while 0,390; 0,454 and 0,389 on the angle of attack 5° . The variations of angle of attack 5° produces the highest power coefficient (C_p), which is 0,454 in the aspect ratio (H/D) 0,64 is 0,417 on the aspect ratio (H/D) 1,56. The H-rotor wind turbine with aspect ratio (H/D) 0,64 and angle of attack 5° on Tip Speed Ratio 3,5 produces the highest power coefficient (C_p) value which is 0,454.

Keywords: angle of attack, aspect ratio, H-rotor, power coefficient

Abstrak

Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang sumbu rotasinya tegak lurus dengan permukaan tanah. Turbin angin sumbu vertikal H-rotor memiliki sejumlah parameter desain yang dapat mempengaruhi performa turbin angin. Dalam penelitian ini dibahas pengaruh aspect ratio (H/D) dan sudut serang terhadap performa yang dihasilkan turbin angin H-rotor. Variasi aspect ratio (H/D) yang digunakan adalah 0,64 dan 1,56 dengan sudut serang 0° , dan 5° , jenis airfoil NACA0015. Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi numerik pada turbin angin H-rotor dengan Computational Fluid Dynamics 3 dimensi. Turbin angin disimulasikan pada kecepatan angin 3 m/s. Variasi Tip Speed Ratio yang digunakan yaitu 3; 3,5 dan 4 sehingga dihasilkan kecepatan putar pada aspect ratio (H/D) 0,64 adalah 14,4; 16,8 dan 19,2 dan pada aspect ratio (H/D) 1,56 adalah 22,5; 26,25 dan 30. Hasil yang diperoleh dari penelitian adalah turbin angin sumbu vertikal H-rotor dengan variasi aspect ratio (H/D) 0,64 memiliki variasi nilai koefisien daya (C_p) lebih baik dibandingkan dengan variasi aspect ratio (H/D) 1,56. Turbin angin H-rotor dengan aspect ratio (H/D) 0,64 dan sudut serang 5° pada Tip Speed Ratio 3,5 menghasilkan nilai koefisien daya (C_p) paling tinggi yaitu 0,454.

Kata kunci: aspect ratio, koefisien daya, H-rotor, sudut serang

1. Pendahuluan

Energi angin merupakan salah satu energi salah satu sumber energi yang memiliki potensi yang baik dalam pengembangan sistem konversi energi terbarukan karena perolehan sumber daya yang mudah dan ramah lingkungan. Konversi energi angin menjadi energi terbarukan yaitu dengan memanfaatkan angin sebagai penggerak rotor yang kemudian disebut dengan turbin angin. Turbin angin adalah suatu alat yang dapat memanfaatkan energi angin menjadi energi listrik dengan cara mengonversikan energi angin menjadi energi mekanik untuk menggerakkan generator dimana energi yang dihasilkan berupa energi listrik [1]. Terdapat dua macam turbin angin yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal. Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang sumbu rotasinya tegak lurus dengan permukaan tanah, turbin angin vertikal memiliki kelebihan yaitu dapat menerima angin dari segala arah, konstruksi sederhana, tidak membutuhkan stuktur menara yang besar sehingga perawatannya mudah [2]. Berdasarkan bentuk sudu dan konstruksi turbin angin, turbin angin sumbu vertikal dibedakan menjadi tiga yaitu Savonius, Darrieus,

dan Darrieus-H. Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang dapat beroperasi maksimal pada kecepatan udara yang rendah[3]. Jika turbin angin dikelompokkan berdasarkan prinsip gaya aerodinamik maka dapat diklasifikasikan menjadi turbin angin tipe *lift* dan *drag* [4]. Adapun ciri dari turbin angina Darrieus-H adalah Turbin Darrieus-H turbin angin yang dapat bekerja pada kecepatan angina yang rendah, tetapi memiliki kekurangan kinerja aerodinamis yang cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan yang dengan sumbu horizontal [5].

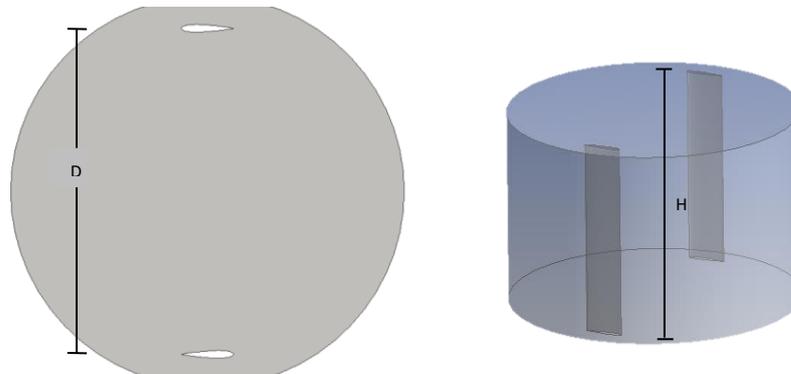
Penentuan performa turbin angin dapat didasarkan pada parameter desain yang digunakan seperti ukuran turbin, bentuk sudu, jumlah sudu dsb. Ukuran turbin salah satunya dapat dinyatakan dalam rasio antara tinggi dengan diameter turbin atau yang biasa dikenal sebagai *aspect ratio*. Ukuran dari *aspect ratio* memiliki pengaruh yang besar pada performa turbin angin *Darrieus*, faktor-faktor yang mempengaruhi besar Bilangan *Reynolds* yaitu *aspect ratio* antara tinggi sudu dengan diameter *rotor* dimana semakin kecil *aspect ratio* maka semakin tinggi nilai dari Bilangan *Reynolds* yang dihasilkan dan semakin besar *aspect ratio* suatu turbin maka semakin besar kecepatan putar[6] dan besar *drag* pada sudu turbin angin semakin kecil[7]. Selain itu pada pengembangan turbin angin tipe Savonius lebih dulu dilakukan pengembangan terhadap ukuran *aspect ratio* dan hasil yang diperoleh dengan penelitian tersebut adalah desain *aspect ratio* memiliki pengaruh yang sama seperti penambahan *end plate* pada turbin angin Savonius [8].

Penelitian ini dilakukan simulasi numerik mengenai pengaruh *aspect ratio* (H/D) dan sudut serang terhadap karakteristik dari turbin yang dinyatakan dalam bentuk koefisien daya (C_p), koefisien torsi (C_T) dan *Tip Speed Ratio* (TSR), Turbin angin disimulasikan dengan kondisi kecepatan angin yaitu 3 m/s. Untuk memastikan karakteristik dari turbin angin sumbu vertikal H-*rotor* yang didesain, maka dilakukan simulasi numerik terhadap performa aerodinamika turbin angin sehingga dapat ditentukan turbin dengan variasi yang mana dapat mengekstraksi energi angin yang paling optimal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk Mengetahui pengaruh *aspect ratio* (H/D) turbin angin sumbu vertikal H-*rotor* terhadap koefisien daya yang dihasilkan dan mengetahui pengaruh sudut serang turbin angin sumbu vertikal H-*rotor* terhadap koefisien daya yang dihasilkan.

2. Metode Penelitian

2.1 Geometri Turbin Angin

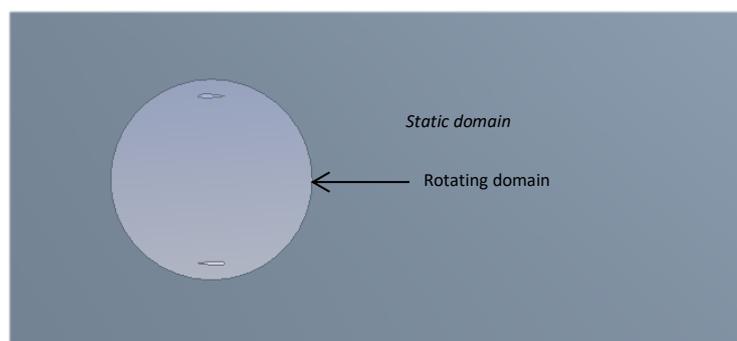
Pada tahap ini dibuat model dari turbin angin sumbu vertikal yang akan dipakai dalam simulasi numerik. Gambar model turbin angin sumbu vertikal yang dipakai pada penelitian ini terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Geometri Turbin Angin

2.2 Domain Pemodelan

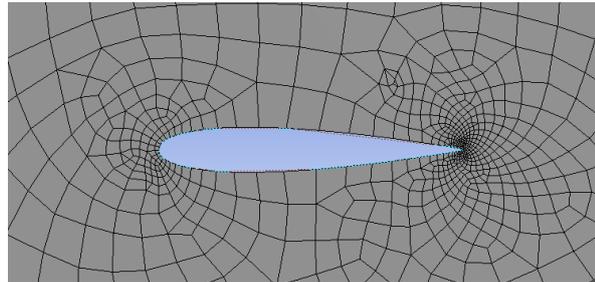
Pada tahap ini terdapat dua bentuk *domain* yaitu *domain* berputar (*rotating domain*) dan *domain* tetap (*static domain*). *Domain* yang berputar terdapat pada bagian diameter terluar turbin angin berbentuk lingkaran, *domain* ini digunakan sebagai lintasan pada bagian *rotating motion*. Selanjutnya terdapat *domain* tetap yang berfungsi sebagai letak aliran fluida, *domain* ini tidak bergerak, yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Rotating Domain dan Static Domain Turbin Angin

2.3 Meshing

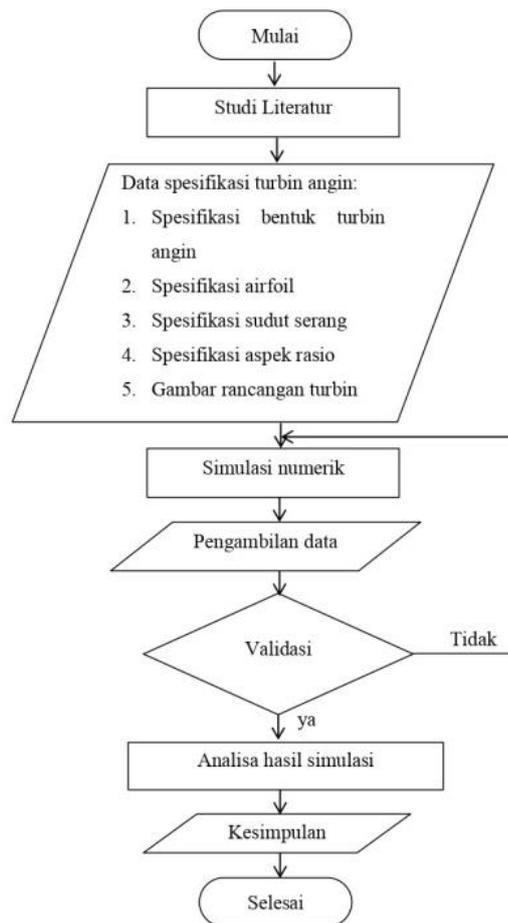
Proses *meshing* adalah pembagian objek menjadi bagian-bagian yang lebih kecil atau dapat disebut *cell* atau *node*. Semakin banyak jumlah *node* maka akan memperoleh simulasi yang tepat dan akurat, akan tetapi proses simulasi akan menjadi lebih lama, yang ditunjukkan pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Hasil Proses Meshing

2.4 Diagram Alir Penelitian

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



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Validasi Model

Validasi model pada penelitian ini dilakukan dengan cara melihat nilai skewness pada saat setelah melakukan proses *meshing*. *Skewness* adalah ukuran untuk mengetahui kualitas dari proses *meshing* yang dilakukan. Rata – rata pada setiap variasi simulasi memiliki nilai maksimum *skewness* sebesar 0,60 – 0,70 hal ini dapat disimpulkan model yang digunakan pada simulasi memiliki kualitas yang baik dan jika dilihat pada kategori yang telah ditetapkan

oleh CFD maka nilai maksimum *skewness* termasuk kategori *good meshing* dimana nilainya adalah 0,5 - 0,8. Gambar 5 merupakan kategori *skewness* dalam CFD:



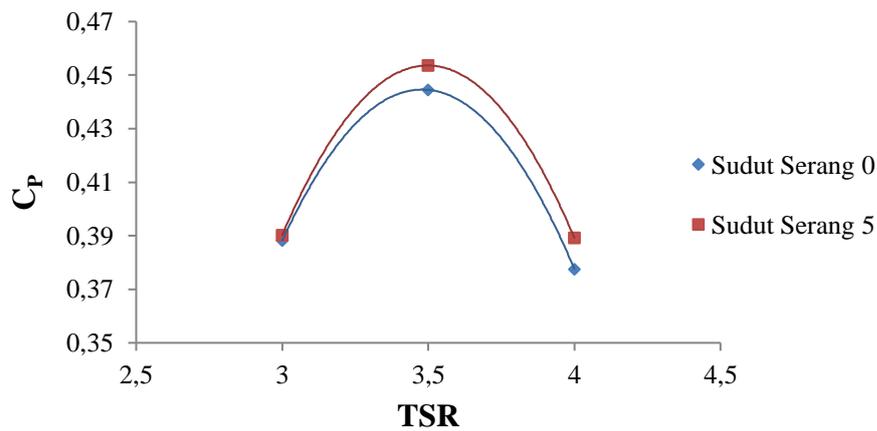
Gambar 5. Kategori Untuk *Skewness* Dalam CFD [9]

3.2 Hasil Simulasi Turbin Angin

Dari hasil simulasi didapatkan grafik koefisien torsi terhadap TSR, koefisien daya terhadap TSR, koefisien lift terhadap sudut serang.

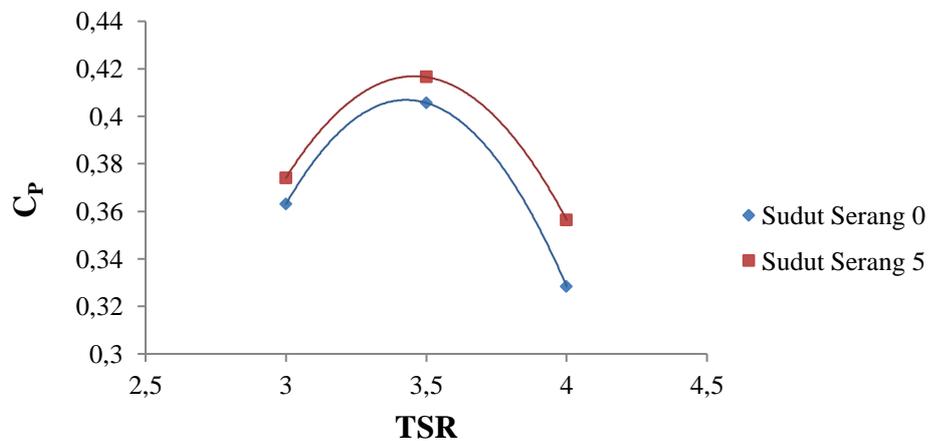
3.2.1 Grafik Koefisien Daya (C_p) Terhadap *Tip Speed Ratio* (TSR)

Berikut merupakan grafik *Tip Speed Ratio* dilakukan pada tiap-tiap variasi *aspect ratio* (H/D) yang berbeda yaitu 0,64 dan 1,56 dan variasi sudut serang yaitu 0° dan 5° ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7:



Gambar 6. Grafik Koefisien daya (C_p) Terhadap TSR Pada *Aspect Ratio* 0,64

Nilai koefisien daya maksimum terjadi pada dua variasi sudut serang dengan perbedaan tidak terlalu signifikan diantara keduanya yaitu untuk sudut serang 0° C_p maksimum adalah 0,445 sedangkan pada sudut serang 5° C_p maksimum adalah 0,454. Pada saat TSR 3 ke TSR 3,5 terjadi peningkatan cukup drastis sedangkan pada TSR 4 mengalami sedikit penurunan.

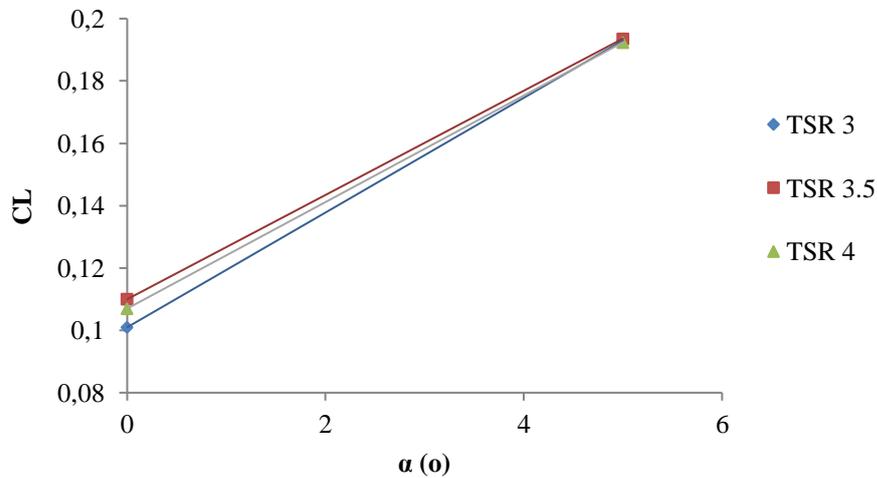


Gambar 7. Grafik Koefisien Daya (C_p) Terhadap TSR Pada *Aspect Ratio* 1,56

Nilai koefisien daya maksimum terjadi pada dua variasi sudut serang dengan perbedaan tidak terlalu signifikan diantar keduanya yaitu untuk sudut serang 0° C_p maksimum adalah 0,406 sedangkan pada sudut serang 5° C_p maksimum adalah 0,417. Pada saat TSR 3 ke TSR 3,5 terjadi peningkatan cukup drastis sedangkan pada TSR 4 mengalami sedikit penurunan. Dari dua variasi *aspect ratio* dan sudut serang didapatkan hasil koefisien daya maksimal berada pada *aspect ratio* 0,64 dengan sudut serang 5° sebesar 0,454. Hal tersebut disebabkan oleh *aspect ratio* lebih rendah memiliki kestabilan yang lebih baik dari *aspect ratio* yang lebih besar [6].

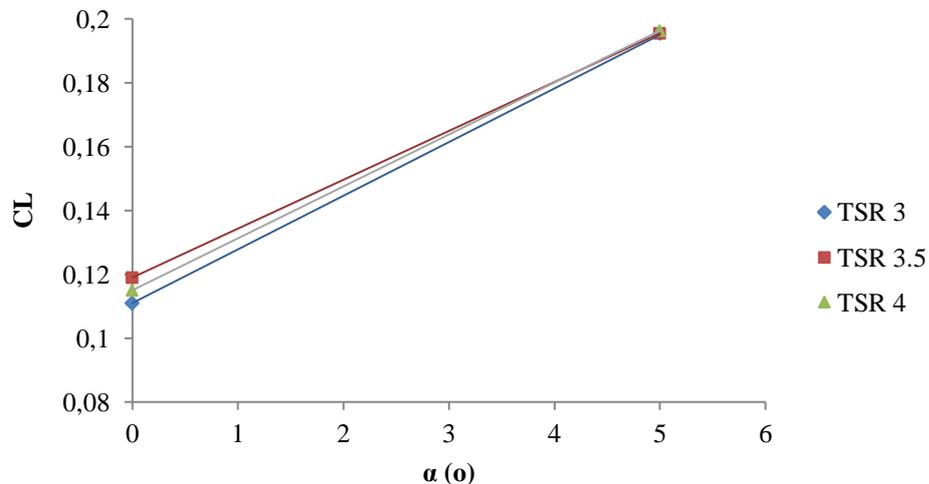
3.2.3 Grafik Koefisien Lift (C_L) Terhadap Sudut Serang

Berikut merupakan grafik koefisien lift (C_L) terhadap sudut serang dilakukan pada tiap-tiap variasi *aspect ratio* (H/D) yang berbeda yaitu 0,64 dan 1,56 dan variasi sudut serang yaitu 0° dan 5° ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9:



Gambar 8. Grafik Koefisien Lift (C_L) Terhadap Sudut Serang Pada *Aspect Ratio* 0,64

Nilai koefisien lift (C_L) maksimum adalah 0,190 untuk TSR 3, nilai koefisien lift (C_L) maksimum adalah 0,191 untuk TSR 3,5, nilai koefisien lift (C_L) maksimum adalah 0,192 untuk TSR 4. Perbedaan nilai koefisien lift (C_L) memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan pada tiap TSR.



Gambar 9. Grafik Koefisien Lift (C_L) Terhadap Sudut Serang Pada *Aspect Ratio* 1,56

Nilai koefisien lift (C_L) maksimum adalah 0,195 untuk TSR 3, nilai koefisien lift (C_L) maksimum adalah 0,195 untuk TSR 3,5 nilai koefisien lift (C_L) maksimum adalah 0,196 untuk TSR 4. Pada sudut serang yang lebih rendah, gaya angkat meningkat secara perlahan sampai pada titik tertentu [10]. Perbedaan nilai koefisien lift (C_L) memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan pada tiap TSR.

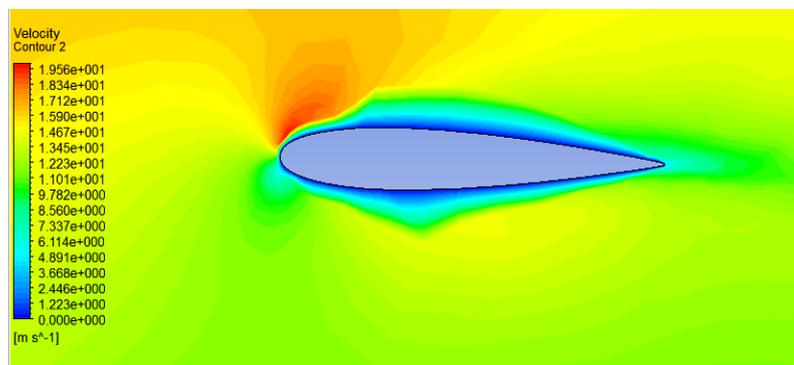
3.3 Analisis Kontur Tekanan dan Kecepatan

Simulasi untuk *airfoil* dengan sudut serang 0° dan 5° serta variasi *aspect ratio* 0,64 diambil sampel pada TSR 3,5 sebagai sampel tampilan kontur tekanan dan aliran yang akan dibahas sebagai berikut:



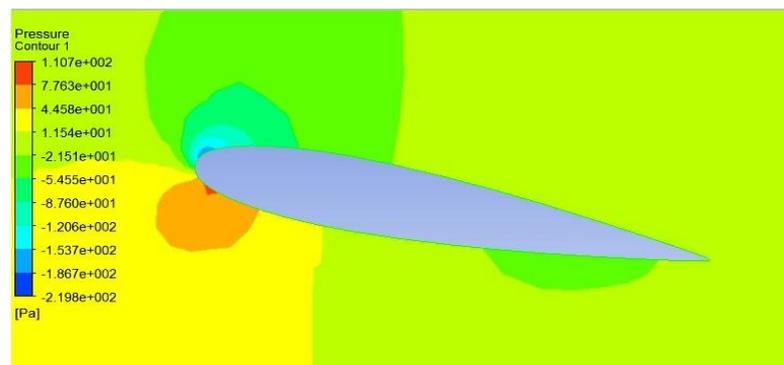
Gambar 10. Kontur Tekanan Sudut Serang 0° Pada *Aspect Ratio* 0,64

Gambar 10 menunjukkan hasil simulasi *CFD* berupa kontur tekanan pada *airfoil* NACA0015 dengan sudut serang 0° pada *aspect ratio* 0,64. Tekanan maksimum terjadi pada bagian *leading edge airfoil*, selain itu tekanan yang rendah terjadi pada permukaan atas *airfoil* sehingga pada kondisi ini gaya *lift* akan lebih besar dari gaya *drag* yang terjadi.



Gambar 11. Kontur Kecepatan Aliran Sudut serang 0° Pada *Aspect Ratio* 0,64

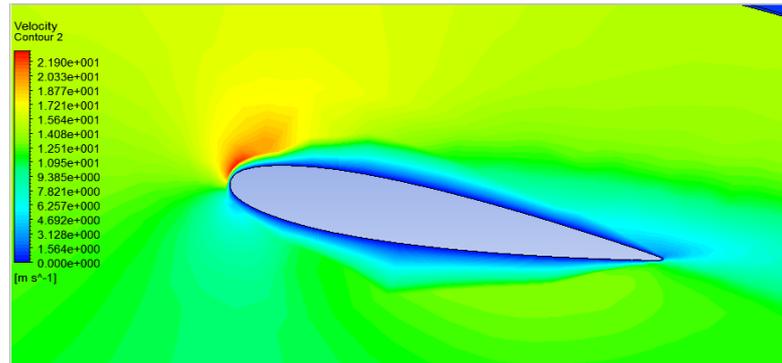
Gambar 11 menunjukkan hasil simulasi *CFD* berupa kontur kecepatan pada *airfoil* NACA0015 dengan sudut serang 0° pada *aspect ratio* 0,64. Kecepatan maksimum terjadi pada permukaan atas *airfoil*, selain itu kecepatan yang rendah terjadi pada permukaan bawah *airfoil*. Hal tersebut dikarenakan udara di atas permukaan *airfoil* harus menjalani jarak yang lebih jauh karena lengkungan dari permukaan yang diatas sehingga kecepatan pada permukaan atas *airfoil* dipaksa untuk bergerak lebih cepat. Pertambahan kecepatan tersebut mengurangi tekanan pada bagian permukaan atas *airfoil*.



Gambar 12. Kontur Tekanan Sudut Serang 5° Pada *Aspect Ratio* 0,64

Gambar 12 menunjukkan hasil simulasi *CFD* berupa kontur tekanan pada *airfoil* NACA0015 dengan sudut serang 5° pada *aspect ratio* 0,64. Tekanan maksimum terjadi pada bagian permukaan bawah *leading edge airfoil*

dimana titik ini terjadi tabrakan udara dengan bagian *airfoil* pada titik tersebut aliran udara dalam keadaan berhenti sejenak dan bertahap bertambah. Perbedaan tekanan yang terjadi pada kedua permukaan *airfoil* itulah yang menyebabkan *airfoil* mengalami gaya angkat yang arahnya dari bagian permukaan bawah ke bagian atas.



Gambar 13. Kontur Kecepatan Aliran Sudut serang 5° Pada *Aspect Ratio* 0,64

Gambar 13 menunjukkan hasil simulasi *CFD* berupa Kontur kecepatan pada *airfoil* NACA0015 dengan sudut serang 5° pada *aspect ratio* 0,64. Kecepatan maksimum terjadi pada permukaan atas *airfoil*, selain itu kecepatan yang rendah terjadi pada permukaan bawah *airfoil*. Hal tersebut dikarenakan udara di atas permukaan *airfoil* harus menjalani jarak yang lebih jauh karena lengkungan dari permukaan yang diatas sehingga kecepatan pada permukaan atas *airfoil* dipaksa untuk bergerak lebih cepat. Pertambahan kecepatan tersebut mengurangi tekanan pada bagian permukaan atas *airfoil*. Koefisien gaya angkat maksimum dihasilkan oleh *airfoil* pada posisi sudut serang maksimum dimana nilai koefisien gaya angkat maksimum menjadi salah satu faktor penting dalam performa dari *airfoil*.

4. Kesimpulan

Kontur distribusi kecepatan yang diperoleh pada proses simulasi *CFD* dapat disimpulkan Turbin angin sumbu vertikal *H-rotor* dengan variasi *aspect ratio* (H/D) 0,64 memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan turbin angin *H-rotor airfoil* NACA0015 dengan *aspect ratio* (H/D) 1,56. Pada variasi *aspect ratio* (H/D) 0,64 memiliki variasi nilai koefisien daya (C_p) lebih tinggi dibandingkan dengan variasi *aspect ratio* (H/D) 1,56 pada nilai *TSR* 3; 3,5 dan 4 meliputi 0,388; 0,445 dan 0,378 pada sudut serang 0° sedangkan 0,390; 0,454 dan 0,389 pada sudut serang 5° dan turbin angin sumbu vertikal *H-rotor* dengan variasi sudut serang 5° memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan sudut serang 0° . Pada variasi sudut serang 5° menghasilkan nilai C_p tertinggi pada *TSR* 3,5 disetiap variasi *aspect ratio* yaitu 0,454 pada *aspect ratio* (H/D) 0,64 dan 0,417 pada *aspect ratio* (H/D) 1,56

Daftar Pustaka

- [1] Manwell, J.F., McGowan, J.G., Rodgers, A.L., 2001, "Wind energi explained," Wiley, New York.
- [2] Hau, E., 2013, "Wind Turbines : Fundamentals, Technologies, Application, Economics," Springer, New York.
- [3] Hicary., 2016, "Analisis Pengaruh Jumlah Sudu pada Turbin Angin *Savonius* Sumbu Vertikal Terhadap Tegangan dan Arus di Dalam Proses Pengisian Akumulator: *e-Proceeding of Engineering*," 3 : 4911.
- [4] Jha, A.R., 2011, "Wind Turbine Technologies", CRC Press, Boca Raton, Fla.
- [5] Hashem, I., & Mohamed, M.H., 2018, "Aerodynamic Performance Enhancements of H-Rotor Darrieus Wind Turbine: *Energy*," 142: 531-545.
- [6] Brusca, S. R., 2014, "Design Of A Vertical-Axis Win Turbine: How The Aspect Ratio Affects The Turbine's Performance: *Intenational Journal Energy Environ Engineering*," 5 : 333-340.
- [7] Jain, Pramod., 2011, "Wind Energi Engineering," McGraw Hill ,New York.
- [8] Mahmoud NH, El-Haroun AA, Wahba E, Nasef MH., 2012, An experimental study on improvement of *Savonius* rotor performance; *Alex Eng J*," 51 (1) :19–25.
- [9] ANSYS, 2013. "ANSYS FLUENT Theory Guide," : ANSYS, Inc, United States.
- [10] Mathew, S., 2006, "Wind Energi: Fundamentals, Resource Analysis, and Economics," Springer, New York .