

Analisis Karakteristik Aerodinamis Turbin Angin Poros Horizontal Tiga Bilah

Hizkia Lukas Jeliasta Ginting, Maria F. Soetanto
Politeknik Negeri Bandung
hizkia.lukas.aer18@polban.ac.id, mariasoetanto@polban.ac.id

ABSTRACT

This thesis is three bladed horizontal axis wind turbine simulation using airfoil LS-0417 and cylindrical profile combination. This horizontal axis wind turbine model will be designed by using Gambit software and then will be simulated by using Fluent software. In this thesis, hopefully this simulation can get the aerodynamic characteristic and flow pattern around the wind turbine on several variations of tip speed ratio.

Keyword: Horizontal Axis Wind Turbine, Cylindrical and Airfoil LS-0417 Profile Blade Combination, Aerodynamic Characteristic

PENDAHULUAN

Pada masa sekarang ini, energi fosil merupakan sumber energi utama yang digunakan oleh manusia. Beberapa contoh dari energi fosil yang dimaksud adalah minyak bumi, batu bara, dan gas alam. Energi fosil berasal dari fosil-fosil yang terendap di dalam tanah dan membentuk lapisan-lapisan yang kemudian mendapat tekanan dan panas di bawah tanah lalu mengubah fosil tersebut menjadi minyak bumi, biji batu bara, dan gas alam. Namun perlu diketahui bahwa bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang tak terbarukan (*non-renewable energy*) sehingga akan ada masa dimana bahan bakar ini akan habis. Ketika bahan bakar fosil ini habis maka dibutuhkan metode-metode lain untuk memperoleh sumber energi. Turbin angin merupakan salah satu metode yang dapat dilakukan untuk memperoleh energi sebagai pengganti dari energi fosil.

Turbin angin merupakan salah satu alat yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik. Bilah yang terdapat pada turbin angin akan digerakkan oleh angin yang akan menghasilkan energi mekanik. Kemudian dengan menggunakan generator, energi mekanik ini akan diubah menjadi energi listrik. Energi listrik inilah yang akan digunakan sebagai salah satu sumber energi pengganti energi fosil.

Sistem konversi turbin angin pada umumnya terbagi menjadi dua, yaitu turbin angin poros horizontal dan turbin angin poros vertikal. Berbeda dengan minyak bumi, batu bara, dan gas alam yang tidak terbarukan dan sulit diperoleh, turbin angin poros horizontal dan vertikal cukup menggunakan angin sebagai energi pembangkitnya. Angin merupakan energi yang terbarukan dan cukup

mudah untuk diperoleh sehingga sangat tepat untuk dijadikan pengganti dari energi fosil.

Pada tugas akhir ini, jenis turbin angin yang akan menjadi fokus adalah turbin angin poros horizontal. Kemudian akan dilakukan analisis pada bilah turbin angin poros horizontal dalam tiga dimensi untuk mengetahui karakteristik aerodinamika yang dihasilkan.

1. METODE

1.1 Penentuan Dimensi, Bentuk, dan Tipe Turbin

Tipe turbin angin yang dijadikan kajian utama pada tugas akhir ini adalah turbin angin poros horizontal yang memiliki diameter 7,21 meter. Diameter ini terbagi menjadi tiga bagian, yaitu hub dengan diameter 0,225 meter dan ketebalan silinder 0,2 meter, silinder dengan panjang 0,155 meter serta berdiameter 0,023 meter, dan bilah dengan panjang 3,225 meter, *root chord* 0,3 meter dan *tip chord* 0,195 meter.

1.2 Penentuan Karakteristik Aliran Fluida

Turbin angin poros horizontal pada tugas akhir ini beroperasi dengan menggunakan karakteristik udara di Pantai Pandansimo. Berdasarkan situs *weather.com* diperoleh rata-rata kecepatan angin di Pantai Pandansimo adalah $4,43 \text{ m/s}$ dengan karakteristik udara pada *sea level* yaitu temperatur 15°C , tekanan 101.325 pascal, percepatan gravitasi $9,81 \text{ m/s}^2$, massa jenis $1,225 \text{ kg/m}^3$, *viscosity* $1,789 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$. Turbin ini memiliki bilangan Reynold 2.187.080 dan juga bertipe *external flow* sehingga aliran pada turbin angin ini adalah turbulen.

1.3 Pembuatan Geometri Turbin

Setelah dimensi, bentuk, dan tipe turbin angin yang akan digunakan telah diketahui, maka data tersebut akan diolah pada *software Ansys Gambit* untuk membentuk geometri tiga dimensi turbin.

1.4 Penentuan Kondisi Batas

Setelah geometri telah selesai dibuat, karakteristik aliran akan dimasukkan dan diolah menggunakan *software Ansys Fluent*. Buka *software fluent* maka akan muncul pilihan *Fluent version* yang ingin dibuka. Dikarenakan tugas akhir ini akan disimulasikan dalam tiga dimensi, maka pilih *fluent version 3ddp*. Jika *fluent* sudah menampilkan layar utama, maka buka *file* yang sudah di *export* dari *gambit* menggunakan menu *file*, kemudian *read* lalu *cas*. Terdapat beberapa perubahan karakteristik aliran yang akan didefinisikan menggunakan *software* ini seperti yang dijelaskan pada tabel di bawah ini.

Table 3-1 Pengaturan Fluent

No.	Fluent Setting	Definisi
1.	<i>Solver</i>	Green-Gauss Node Based
1.	<i>Viscous</i>	k-epsilon ; RNG
2.	<i>Boundary Conditions</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Wall ; Moving Wall ; Absolute ; Rotational ; Rotation Axis Direction X</i> • <i>Inlet ; Velocity Magnitude 4,43 m/s</i>
3.	<i>Solution Initialization</i>	<i>Compute From Inlet ; Absolute</i>
4.	<i>Residual Monitors</i>	<i>Absolute Criteria 10⁻⁵</i>
5.	<i>Reference Value</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Compute From Inlet</i> • <i>Area 40,81 m²</i>

1.5 Iterasi

Pada tahap ini akan dilakukan iterasi atau *running* pada geometri yang telah selesai dibuat pada tahap sebelumnya untuk melihat aliran fluida yang bergerak di sekitar turbin. Iterasi ini akan menghasilkan karakteristik aerodinamis yang ada pada turbin.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dari simulasi komputasional yang telah dilakukan pada tugas akhir dengan judul “Analisis Karakteristik Aerodinamis Turbin Angin Poros Horizontal Tiga Bilah” adalah sebagai berikut.

Table 4-2 Koefisien dan Gay Aerodinamika yang Diperoleh

TSR	v (m/s)	r (m)	ω (rad/s)	C_L	C_M	C_D	L	D
6	4,43	3,605	7,37	2,31	16,33	10,03	22,16	96,22
6,5	4,43	3,605	7,99	2,33	16,74	10,32	22,37	99,01
7	4,43	3,605	8,60	2,34	17,24	10,64	22,42	102,07
7,5	4,43	3,605	9,22	2,33	17,66	10,89	22,35	104,45
8	4,43	3,605	9,83	2,31	18,02	11,08	22,20	106,29
8,5	4,43	3,605	10,45	2,29	18,42	11,29	21,96	108,33
9	4,43	3,605	11,06	2,27	18,71	11,44	21,73	109,76
9,5	4,43	3,605	11,67	2,24	18,97	11,57	21,50	111,00
10	4,43	3,605	12,29	2,21	19,18	11,67	21,24	111,90
10,5	4,43	3,605	12,90	2,19	19,38	11,76	21,02	112,82

Table 4-3 Torsi dan Daya yang Diperoleh

TSR	v (m/s)	r (m)	ω (rad/s)	C_L
6	4,43	3,605	7,37	2,31
6,5	4,43	3,605	7,99	2,33
7	4,43	3,605	8,60	2,34
7,5	4,43	3,605	9,22	2,33
8	4,43	3,605	9,83	2,31
8,5	4,43	3,605	10,45	2,29
9	4,43	3,605	11,06	2,27
9,5	4,43	3,605	11,67	2,24
10	4,43	3,605	12,29	2,21
10,5	4,43	3,605	12,90	2,19

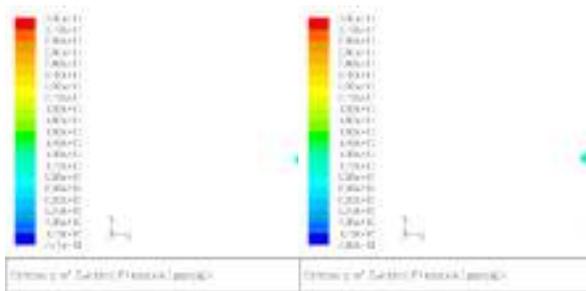
Table 4-4 Coefficient Power yang Dihasilkan

TSR	P	P_k	CP
6	589,06	2173,12	0,27
6,5	644,03	2173,12	0,30
7	695,27	2173,12	0,32
7,5	742,57	2173,12	0,34
8	786,81	2173,12	0,36
8,5	826,99	2173,12	0,38
9	866,42	2173,12	0,40
9,5	904,94	2173,12	0,42

10	940,93	2173,12	0,43
10,5	977,58	2173,12	0,45

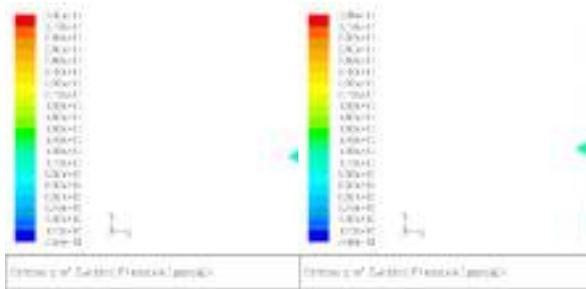
2.1 Pengaruh TSR Terhadap Distribusi Tekanan

Simulasi yang telah dilakukan menunjukkan terjadinya distribusi tekanan pada turbin angin pada setiap variasi TSR yang bekerja. Besaran nilai tekanan yang dihasilkan berbeda-beda sesuai dengan warna yang ditampilkan. Nilai dari masing-masing warna berada di bagian kiri dari gambar. Berikut adalah gambar yang menunjukkan distribusi tekanan pada turbin angin untuk setiap variasi TSR.



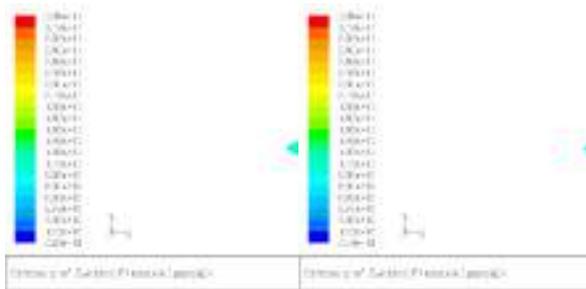
Gambar 1. Kontur Tekanan Pada TSR 6

Gambar 2. Kontur Tekanan Pada TSR 6,5



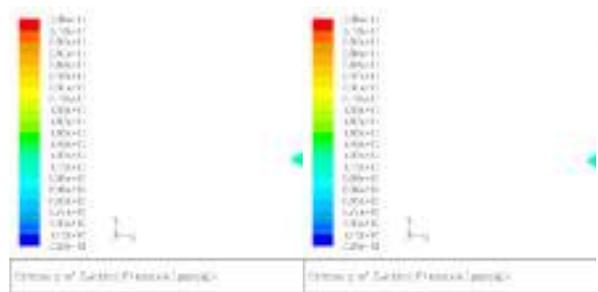
Gambar 3. Kontur Tekanan Pada TSR 7

Gambar 4. Kontur Tekanan Pada TSR 7,5



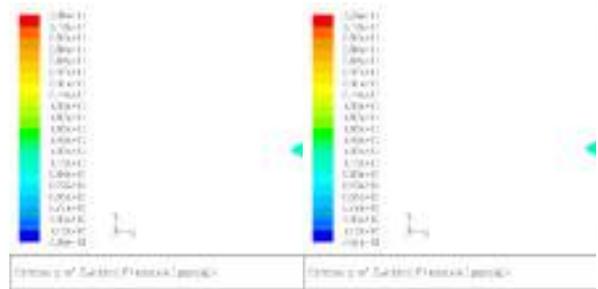
Gambar 5. Kontur Tekanan Pada TSR 8

Gambar 6. Kontur Tekanan Pada TSR 8,5



Gambar 7. Kontur Tekanan Pada TSR 9

Gambar 8. Kontur Tekanan Pada TSR 9,5

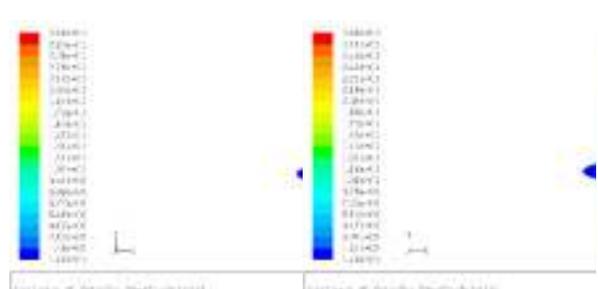


Gambar 9. Kontur Tekanan Pada TSR 10

Gambar 10. Kontur Tekanan Pada TSR 10,5

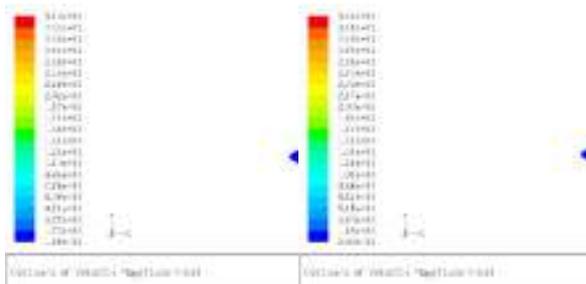
2.2 Pengaruh TSR Terhadap Distribusi Kecepatan

Simulasi yang telah dilakukan menunjukkan terjadinya distribusi kecepatan pada turbin angin untuk setiap variasi TSR yang bekerja. Besaran nilai kecepatan yang dihasilkan berbeda-beda sesuai dengan warna yang ditampilkan. Nilai dari masing-masing warna berada di bagian kiri dari gambar. Berikut adalah gambar yang menunjukkan distribusi kecepatan pada turbin angin untuk setiap variasi TSR.



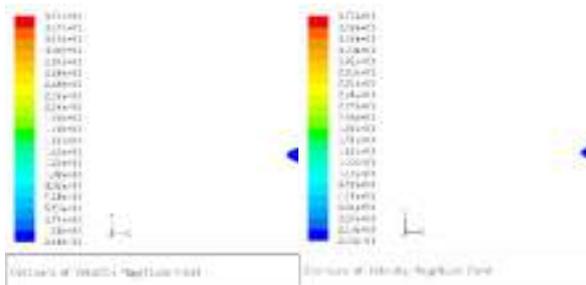
Gambar 11. Kontur Kecepatan Pada TSR 6

Gambar 12. Kontur Kecepatan Pada TSR 6,5



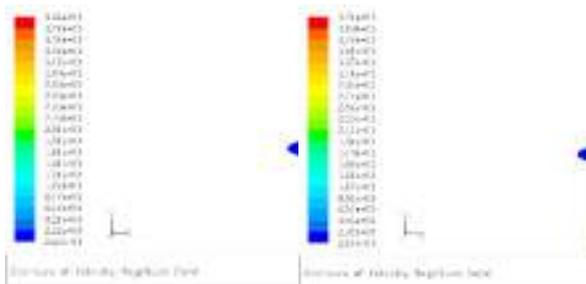
Gambar 13. Kontur Kecepatan Pada *TSR* 7

Gambar 14. Kontur Kecepatan Pada *TSR* 7,5



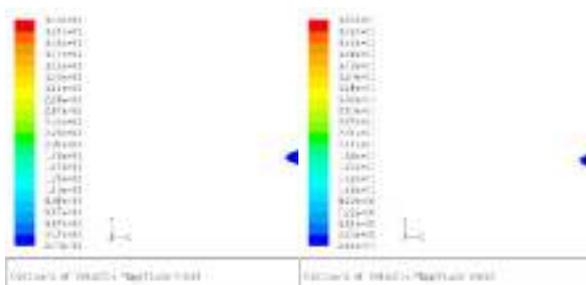
Gambar 15. Kontur Kecepatan Pada *TSR* 8

Gambar 16. Kontur Kecepatan Pada *TSR* 8,5



Gambar 17. Kontur Kecepatan Pada *TSR* 9

Gambar 18. Kontur Kecepatan Pada *TSR* 9,5



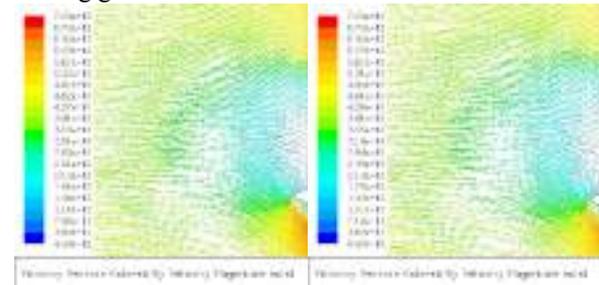
Gambar 19. Kontur Kecepatan Pada *TSR* 10

Gambar 20. Kontur Kecepatan Pada *TSR* 10,5

2.3 Pengaruh *TSR* Terhadap Vektor Kecepatan

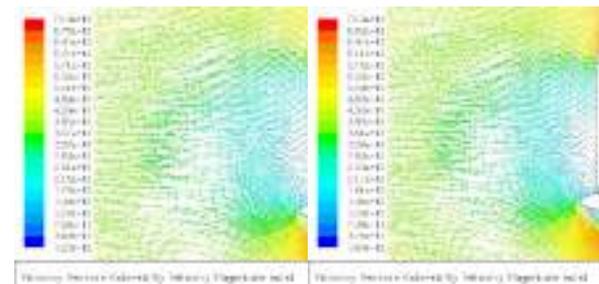
Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, diketahui bahwa kecepatan udara berubah ketika melewati bilah turbin angin. Besaran dan vektor kecepatan yang dihasilkan setelah melewati bilah turbin angin berbeda-beda sesuai dengan warna yang ditampilkan. Kecepatan tertinggi berada pada

ujung bilah yang ditunjukkan dengan anak panah berwarna merah sedangkan kecepatan paling rendah berada tepat ketika udara akan melewati bilah turbin angin yang ditunjukkan dengan anak panah berwarna biru tua. Terlihat juga terjadi ulakan setelah udara melewati bilah turbin angin. Fenomena ulakan yang terjadi pada turbin angin untuk beberapa variasi *TSR* cenderung berada di posisi yang sama, hanya saja kecepatan udara yang dihasilkan berbeda-beda sesuai dengan indikator warna yang ditunjukkan pada bagian kiri masing-masing gambar dibawah ini.



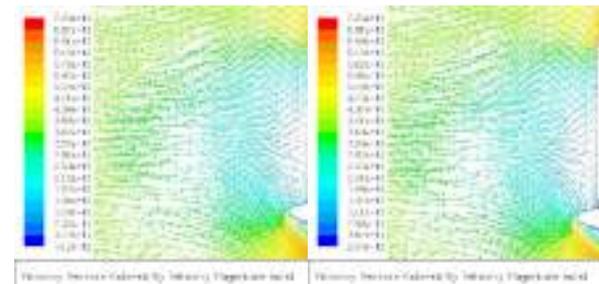
Gambar 21. Vektor Kecepatan Pada *TSR* 6

Gambar 22. Vektor Kecepatan Pada *TSR* 6,5



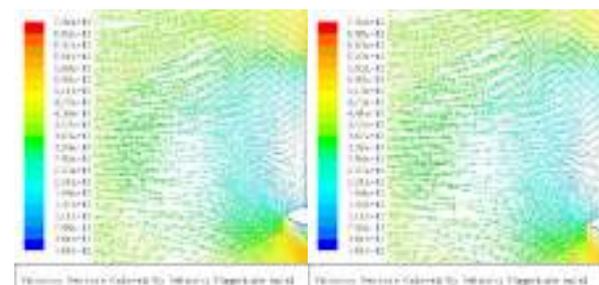
Gambar 23. Vektor Kecepatan Pada *TSR* 7

Gambar 24. Vektor Kecepatan Pada *TSR* 7,5

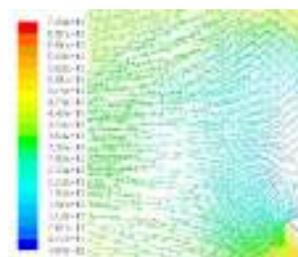


Gambar 25. Vektor Kecepatan Pada *TSR* 8

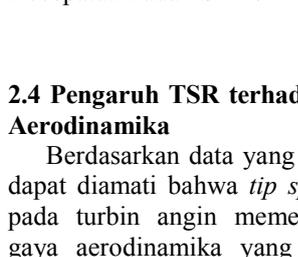
Gambar 26. Vektor Kecepatan Pada *TSR* 8,5



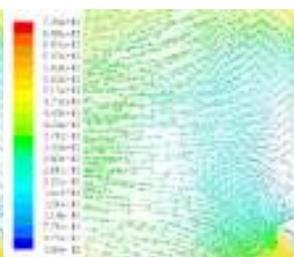
Gambar 27. Vektor Kecepatan Pada TSR 9



Gambar 29. Vektor Kecepatan Pada TSR 10



Gambar 28. Vektor Kecepatan Pada TSR 9,5



Gambar 30. Vektor Kecepatan Pada TSR 10,5

2.4 Pengaruh TSR terhadap Koefisien dan Gaya Aerodinamika

Berdasarkan data yang terdapat pada Table 4-2 dapat diamati bahwa *tip speed ratio* yang bekerja pada turbin angin memengaruhi koefisien serta gaya aerodinamika yang dihasilkan. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa titik tertinggi koefisien lift yang dihasilkan turbin angin terdapat pada TSR 7. Gaya angkat pada turbin berbanding lurus dengan koefisien lift yang dibangkitkan, sehingga gaya angkat terbesar juga berada pada TSR 7. Berbeda dengan koefisien lift, koefisien drag nilainya cenderung konstan bertambah seiring dengan meningkatnya variasi TSR pada turbin angin. Dengan bertambahnya nilai koefisien drag maka gaya hambat yang dihasilkan juga bertambah seiring dengan peningkatan variasi TSR

2.5 Pengaruh TSR Terhadap Torsi dan Daya

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, diperoleh torsi dan daya seperti yang terdapat pada Table 4-3. Hasil tersebut menunjukkan bahwa meningkatnya torsi dan daya yang dihasilkan berbanding lurus dengan gaya dan koefisien lift pada turbin angin. Secara matematis diketahui torsi pada turbin angin dipengaruhi oleh nilai gaya angkat pada turbin itu sendiri. Oleh karena itu dapat diketahui bahwa torsi terbesar dihasilkan ketika turbin angin ini beroperasi pada TSR 7. Berbeda dengan torsi, *tip speed ratio* pada turbin angin memengaruhi besar nilai kecepatan putar turbin tersebut dan secara matematis diketahui bahwa kecepatan putar turbin angin berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa daya yang dihasilkan pada turbin angin semakin besar seiring dengan peningkatan *tip speed ratio* pada turbin tersebut.

Coefficient of Power

Coefficient of Power merupakan hasil bagi antara daya yang diekstrak oleh turbin angin dengan daya kinetik yang dihasilkan oleh angin. Daya kinetik yang dihasilkan oleh angin tidak

dipengaruhi oleh nilai *tip speed ratio*, sehingga nilainya konstan. Sedangkan nilai daya yang diekstrak oleh turbin angin bertambah seiring dengan meningkatnya *tip speed ratio* yang bekerja pada turbin angin. Hal inilah yang menyebabkan *coefficient of power* pada turbin angin bertambah pula seiring dengan bertambahnya besaran daya yang diekstrak oleh turbin angin. Simulasi yang dilakukan pada turbin angin ini menghasilkan *coefficient of power* seperti yang terdapat pada **Error! Reference source not found.** Nilai yang dihasilkan sesuai dengan teori *Betz Limit* yang menyatakan bahwa *coefficient of power* yang dihasilkan oleh turbin angin tidak akan melebihi 0,593.

3. KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan dan data yang dimiliki, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

- 1) Turbin Angin Poros Horizontal yang dirancang menggunakan kombinasi antara profil silinder dan airfoil LS-0417mod dengan diameter 7,21m pada variasi TSR 6 – 10,5 diperkirakan menghasilkan daya dengan rentang 589,06 – 977,58 Watt.
- 2) Turbin Angin Poros Horizontal yang dirancang menggunakan kombinasi antara profil silinder dan airfoil LS-0417mod dengan diameter 7,21m pada variasi TSR 6 – 10,5 diperkirakan menghasilkan koefisien daya dengan rentang 0,27 – 0,45 dan hasil ini memenuhi teori Betz Limit dengan C_p tidak melebihi 0,593.
- 3) Turbin Angin Poros Horizontal yang dirancang menggunakan kombinasi antara profil silinder dan airfoil LS-0417mod dengan diameter 7,21m pada variasi TSR 6 – 10,5 memiliki pola aliran yang cukup mirip pada tiap variasi TSRnya yaitu terjadi ulakan pada bagian trailing edge bilah turbin. Hanya saja radius ulakan bertambah seiring dengan pertambahan nilai TSR yang beroperasi pada turbin angin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada dosen pembimbing dan Politeknik Negeri Bandung

DAFTAR PUSTAKA

- [1] _____. 2017. "What is CFD?", diakses pada 07 Maret 2021 pukul 23.34, <https://www.femto.eu/stories/what-is-cfd/>
- [2] _____. 2017. "Airfoils in General", diakses pada 07 Maret 2021 pukul 22.39, <http://www.dynamicflight.com/aerodynamics/airfoils/>

- [3] _____. 2019. “Betz Limit – The Maximum Efficiency for Horizontal Axis Wind Turbine”, diakses pada 11 Maret 2021 pukul 13.46, <https://learnenergy.tw/index.php?inter=knowledge&id=371>
- [4] _____. 2021. “What is CFD | Computational Fluid Dynamics?”, diakses pada 05 Maret 2021 pada pukul 23.47, <https://www.simscale.com/docs/simwiki/cfd-computational-fluid-dynamics/what-is-cfd-computational-fluid-dynamics/>
- [6] Hall, Nancy. 2015 “Conservation of Mass”, diakses pada 04 Maret 2021 pukul 22.53, <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/mass.html>
- [7] Hall, Nancy. 2015. “Conservation of Momentum”, diakses pada 04 Maret 2021 pukul 22.53, <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/conmo.html#:~:text=The%20conservation%20of%20momentum%20states,by%20Newton's%20laws%20of%20motion.&text=Momentum%20is%20conserved%20in%20all%20three%20physical%20directions%20at%20the%20same%20time>
- [8] Hall, Nancy. 2015 “Conservation of Energy”, diakses pada 04 Maret 2021 pukul 22.53, <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/thermo1f.html>
- [9] Huleihil dan Mazor. 2012. “Wind Turbine Power: The Betz Limit and Beyond”, diakses pada 11 Maret 2021 pukul 12.01, <https://www.intechopen.com/books/advances-in-wind-power/wind-turbine-power-the-betz-limit-and-beyond>
- [10] Szyk, Bogna. 2019. “Wind Turbine Calculator”, diakses pada 11 Maret 2021 pukul 14.53, <https://www.omnicalculator.com/ecology/wind-turbine>
- [11] Watson, David E. 2015. “Wind Turbine Power Coefficient (Cp)”, diakses pada 11 Maret 2021 pukul 13.45, [https://www.ftexploring.com/wind-energy/wind-power-coefficient.htm#:~:text=Power%20Coefficient%20\(Cp\)%20is%20a,blades%20at%20specific%20wind%20speed](https://www.ftexploring.com/wind-energy/wind-power-coefficient.htm#:~:text=Power%20Coefficient%20(Cp)%20is%20a,blades%20at%20specific%20wind%20speed)