

## Simulasi Numerik Rotor Turbin Angin Sumbu Horizontal Dengan Profil Sudu NACA 4412

Muh. Syawal Saing<sup>1</sup>, Eka Yawara<sup>\*2</sup>, Harianto<sup>3</sup>, Yosua Heru Irawan<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

\*Korespondensi: [eka.yawara@itny.ac.id](mailto:eka.yawara@itny.ac.id)

### ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Angin adalah pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Energi angin dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif dan terbarukan menggunakan turbin angin. Kinerja turbin angin tergantung pada bentuk, posisi dan dimensi turbin, dll..Penelitian ini dilakukan dengan metode simulasi numerik. Turbin angin dirancang dengan 3 sudu dengan NACA 4412. Yang dimana target dari hasil penelitian ini dapat memberikan hasil data pengolahan yang diinginkan dengan kriteria yang di harapkan Pengujian dengan kecepatan dan TSR, 5 m/s (6), 6 m/s (5), 7 m/s (4), akan di cari hasil yang menunjukkan bahwa simulasi numerik rotor turbin angin sumbu horizontal dengan profil sudu NACA 4412. Menghasilkan pengujian yang diinginkan dengan standar komputasi yang dijalankan dan ditentukan sebelumnya. Hasil dari penelitian ini mendapatkan nilai  $C_p$  mencapai 3% pada TSR 6 dan daya terbaik 126,6 watt pada TSR 5.

**Kata kunci:** Rotor Turbin Angin Sumbu Horizontal dengan profil sudu NACA 4412, simulasi numerik, nilai  $C_p$ , dan daya.

### ABSTRACT

Wind Power Plant is a power plant that uses wind as an energy source to produce electrical energy. Wind energy can be used as an alternative and renewable energy source using wind turbines. The performance of a wind turbine depends on the shape, position and dimensions of the turbine, etc. This research was conducted using a numerical simulation method. Wind turbines are designed with 3 blades with NACA 4412. The target of the results of this study is to provide the desired data processing results with the expected criteria. Testing with speed and TSR, 5 m/s (6), 6 m/s (5), 7 m/s (4), we will look for results showing that numerical simulation of the horizontal axis wind turbine rotor with NACA 4412 blade profile produces the desired test with predetermined computing standards. . The results of this study obtained a  $C_p$  value of 3% at TSR 6 and the best power was 126.6 watts at TSR 5.

**Keyword :** *Horizontal Axis Wind Turbine Rotor with NACA 4412 blade profile, numerical simulation,  $C_p$  value, and power.*

### PENDAHULUAN

Angin adalah salah satu energi yang tidak ada habisnya yang termasuk dalam energi terbarukan. Sebagaimana diketahui, pada dasarnya angin terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara udara panas dan udara dingin. Pada setiap daerah keadaan temperatur dan kecepatan angin berbeda. Energi angin yang sebenarnya sangat berlimpah diIndonesia ternyata belum sepenuhnya dimanfaatkan sebagai alternatif pembangkit listrik, bahkan selama ini masih di pandang sebagai proses alam biasa yang kurang memiliki nilai ekonomis bagi kegiatan produktif masyarakat.

Menurut penelitian Rahmat dkk. (2017). Yang dimana metode penelitian yang di gunakan adalah penelitian numerik dua dimensi dengan analisa aliran unsteady menggunakan *software* STAR CCM+9.02.007-R8. Model turbin angin yang digunakan adalah model turbin angin darrieus dengan profil airfoil sudu sesuai NACA 0024 dengan jumlah sudu 3 dan 4. Turbulence model yang digunakan adalah k-epsilon realizable. Metode *meshing* yang digunakan adalah automated mesh dengan tipe *tetrahedral mesh*. Pemilihan mesh tipe tetrahedral dipilih karena dapat digunakan pada geometri yang kompleks (Prasetyo dkk., 2021). Kecepatan angin yang disimulasikan adalah 5, 7, 9, 11, 13, dan 15 m/s. Hasil yang di peroleh dari penelitian ini adalah visualisasi kontur kecepatan dan tekanan, serta data grafik berupa nilai torsi dan koefisien daya dari turbin angin darrieus. Turbin angin darrieus tiga sudu menghasilkan koefisien daya lebih tinggi dari pada turbin angin darrieus empat sudu dalam rentang TSR 1,08-1,28, nilai koefisien daya tertinggi dari turbin angin darrieus tiga

sudu adalah 0,437 yang di capai pada TSR 1,28. Namun turbin angin darrieus memiliki profil grafik torsi yang lebih stabil dibandingkan dengan turbin angin darrieus tiga sudu.

Menurut pengujian Aryanto dkk, (2013). Pengujian performansi turbin angin poros horizontal dengan variasi kecepatan angin dan variasi jumlah blade ditinjau dari Efisiensi *system* ( $\eta$ ) dan Tip Speed Ratio (TSR). Pengujian dilakukan dengan sumber angin berasal dari kipas angin dengan Wind Tunnel untuk mengarahkan angin. Kecepatan angin yang digunakan terdapat tiga variasi yaitu 3 m/s, 3.5 m/s, dan 4 m/s serta variasi jumlah *blade* yaitu 3, 4, 5 dan 6 *blade*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai terbaik diperoleh pada kecepatan angin maksimal 4 m/s dan jumlah blade 5 dengan nilai 3.07% sedangkan untuk nilai terkecil diperoleh pada kecepatan angin 3 m/s dan jumlah blade 3 yaitu dengan nilai 0.05%. Untuk nilai TSR maksimal pada kecepatan maksimal 4 m/s terjadi pada jumlah *blade* 5 yaitu sebesar  $\lambda = 2.11$ , sedangkan untuk nilai terendah pada kecepatan angin 3 m/s dihasilkan pada jumlah blade 3 yaitu sebesar  $\lambda = 1.49$ .

Pada penelitian verdy dkk. (2020). Melakukan studi secara numerik terhadap parameter-parameter aerodinamika rotor, yakni rasio kecepatan tip, fenomena stol, serta kerugian-kerugian aliran akibat vorteks di sepanjang blade rotor turbin. Analisis numerik melalui metode simulasi CFD atau *computational fluid dynamics* diterapkan pada turbin angin *counter-rotating* untuk dapat memprediksi dan menganalisis kinerja rotor secara aerodinamika melalui variasi rasio diameter, rasio jarak terhadap rasio kecepatan tip *blade* atau tip *speed ratio* pada *solidity* rotor yang konstan. Kinerja rotor turbin ini direpresentasikan sebagai daya output maupun koefisien daya dari setiap variabel penelitian untuk dapat diperoleh kinerja terbaik sekaligus desain rotor turbin sebagai output penelitian. Hasil prediksi CFD menunjukkan tren yang mendekati eksperimen, dimana nilai koefisien daya maksimum terjadi pada TSR = 6 dengan CP,maks= 0.453 dimana lebih rendah 3,09% dari hasil eksperimen. Hal ini menunjukkan bahwa model simulasi CFD tervalidasi pada hampir semua rentang TSR yang divariasikan, kecuali pada TSR tinggi cenderung menjauh dari eksperimen. Fluktuasi aliran setelah melewati rotor kedua diakibatkan oleh vorteks pada hub dan tip blade dari rotor depan maupun rotor belakang. Rotor dengan tip blade yang tidak sejajar ( $D1/D2 < 1,0$  dan  $D1/D2 > 1,0$ ) lebih fluktuatif dari pada rotor dengan tip sejajar ( $D1/D2 = 1,0$ ).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh effendy dkk.(2019). Dalam menyelidiki karakteristik aliran di sekitar profil airfoil NACA 4412 dengan eksperimen dan simulasi numerik. Spesimen uji tiga dimensi dari bahan kayu balsa dengan panjang *chord* 100 mm dan lebar span 200 mm dibuat dalam skala laboratorium untuk keperluan pengujian pada terowongan angin, sedangkan simulasi direalisasikan dengan geometri airfoil dalam bentuk dua dimensi. Sejumlah 810.000 elemen bujursangkar dengan nilai  $\Delta y^+$  hingga 17,2 berhasil dibuat untuk mencapai tingkat keakuratan hasil simulasi keadaan tunak berbasis *Reynolds Average Navier Stokes* (RANS). Penyelidikan karakteristik aerodinamika dilakukan pada sudut serang ( $\alpha$ ) antara  $-5^\circ$  dan  $20^\circ$  dengan kecepatan udara 10 m/s. Beberapa parameter penting seperti koefisien lift (CL), koefisien drag (CD), *rasio lift-drag* (L/D), koefisien distribusi tekanan (CP) serta profil aliran udara di sekitar airfoil diselidiki secara seksama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien hambat (CD) dan koefisien angkat (CL) yang diperoleh dengan pendekatan numerik maupun pengujian dalam wind tunnel memiliki kesesuaian dengan data peneliti terdahulu. Seiring dengan peningkatan sudut serang airfoil ( $\alpha$ ), kedua koefisien tersebut mengalami peningkatan. Penurunan koefisien angkat terjadi secara signifikan pada kondisi stall, yaitu pada saat sudut serang melebihi dari  $15^\circ$ . Perubahan sudut serang berpengaruh terhadap pergeseran titik stagnasi maupun titik ekspansi di daerah leading edge pada permukaan bodi airfoil, yang selanjutnya mempengaruhi karakteristik aerodinamika secara keseluruhan. Semakin besar perbedaan tekanan antara sisi atas dan bawah dari bodi airfoil menghasilkan gaya angkat yang semakin besar.

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan kesebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah *gearbox* yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar.

## METODE PENELITIAN

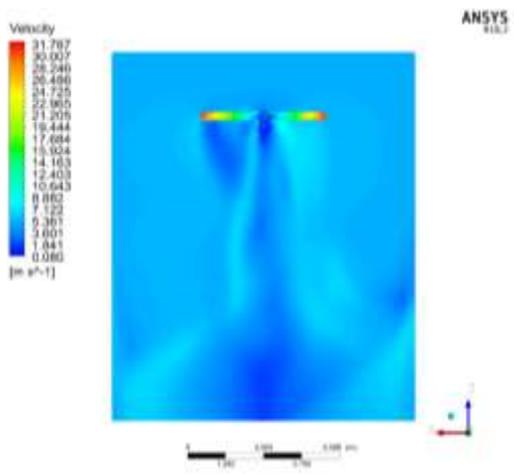
Tahap preprocessing ini merupakan tahapan awal dalam membangun dan menganalisa sebuah model komputasi fluida (CFD). Dalam tahapan preprocessing ini terdiri dari beberapa subtahapan mulai dari pembuatan desain airfoil naca 4412, penentuan daerah komputasi, penggenerasian *mesh* (*meshing*) serta menentukan parameter-parameter yang digunakan (Prasetyo dan Fauzun 2018). Batas aliran udara yang akan menabrak turbin ditetapkan pada bagian *inlet*, *outlet*, dan *interface*-nya. *interface* adalah batasan berupa *wall* yang diatur agar dapat ditembus oleh aliran. pada kasus ini, batasan interface digunakan pada pembatas antar domain. Yaitu, antara domain yang berputar dan domain yang statis. *Boundary condition* pada *inlet* adalah

*velocity inlet* yang bervariasi nilainya pada 5, 6, dan 7 m/s, sedangkan pada outlet digunakan *flow-split outlet*. Pada benda uji digunakan *wall* dengan tambahan *rotation motion*.

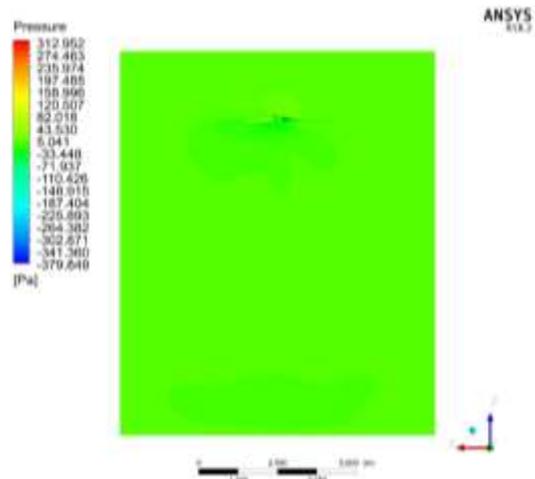
Pada proses pembentukan meshing ini, bagian domain fluida dipecah menjadi bagian-bagian kecil yang disebut elemen atau *grid* (Prasetyo dkk., 2019). Elemen pada bagian berputar dibuat lebih detail dan rapat sehingga dapat memperbesar akurasi perhitungan. Pada area sekitar permukaan *Airfoil* Turbin yang dibuat menjadi semakin detail agar perhitungan juga semakin akurat. Namun, ukuran yang terlalu banyak dan kecil dapat membuat waktu untuk melakukan simulasi menjadi lebih lama. **Inlet Air:** Pada bagian *inlet*, didefinisikan sebagai lokasi di inputnya kecepatan aliran udara. Kecepatan 6 m/s dengan TSR 5; 7 m/s dengan TSR 4; dan 5 m/s dengan TSR 6. **Outlet:** Daerah ini merupakan “jalan keluar” dari aliran fluida. **Walls:** Pada dinding-dinding *blade* didefinisikan sebagai *wall* dengan *no slip condition* untuk merepresentasikan gesekan antara fluida dengan dinding.

### HASIL DAN ANALISIS

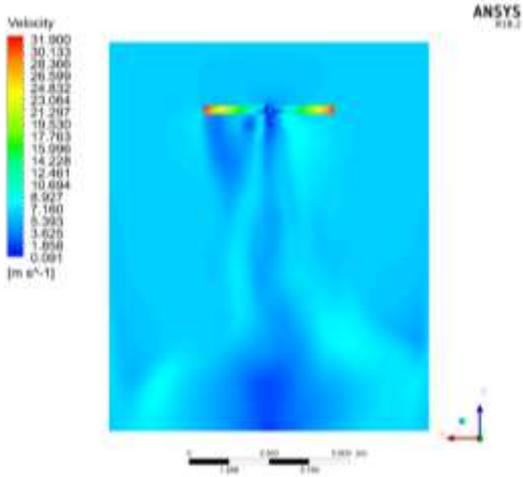
Dari simulasi ini, dapat diambil beberapa data seperti distribusi *velocity* (pola aliran) dan *pressure*.



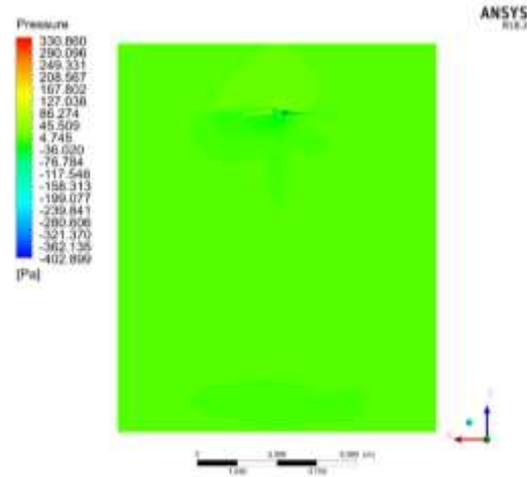
Gambar 1. Distribusi *velocity* 5 m/s



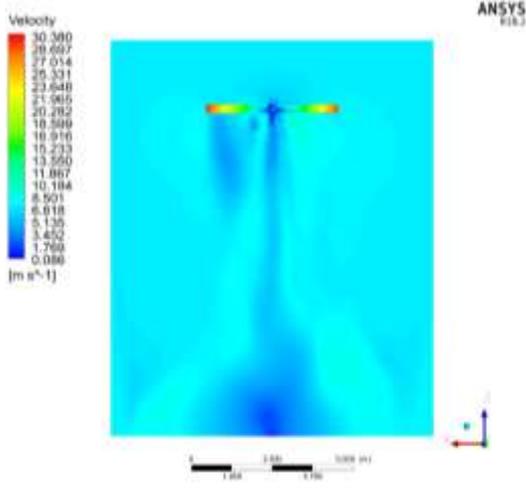
Gambar 2. Result *pressure inlet* 5 m/s



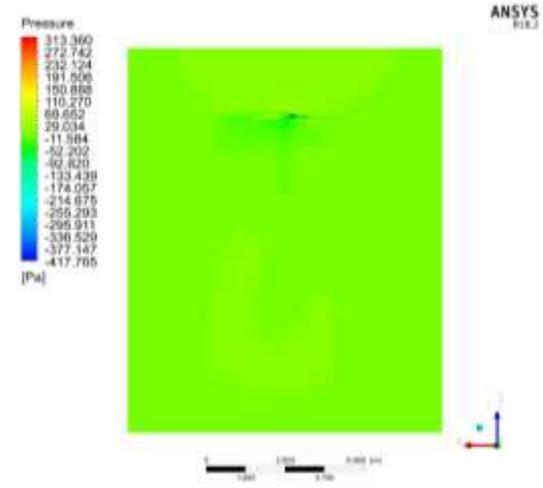
Gambar 3. Distribusi *velocity* 6 m/s



Gambar 4. Result *pressure inlet* 6 m/s



Gambar 5. Distribusi velocity 7 m/s



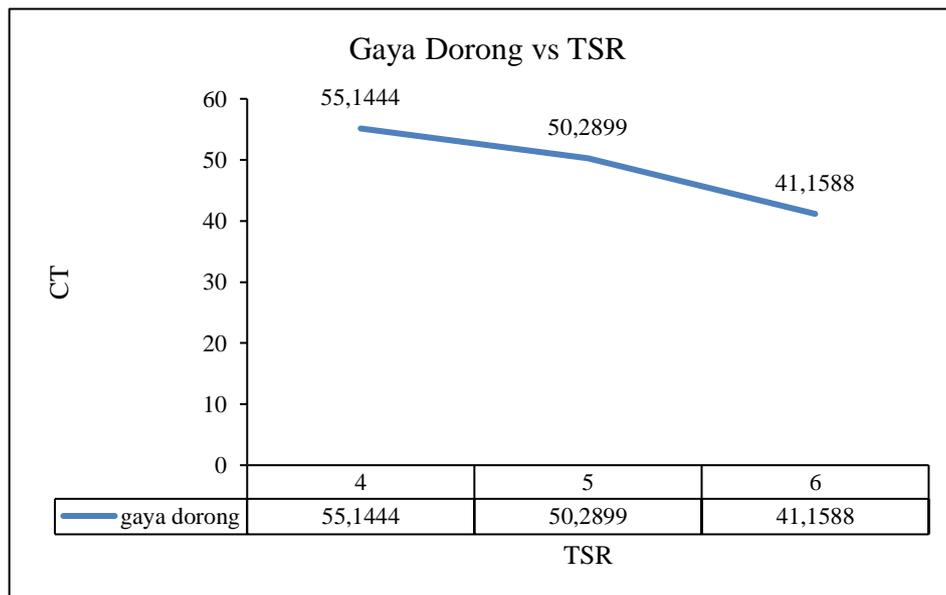
Gambar 6. Results pressure inlet 7 m/s

Tabel 1. Data Results

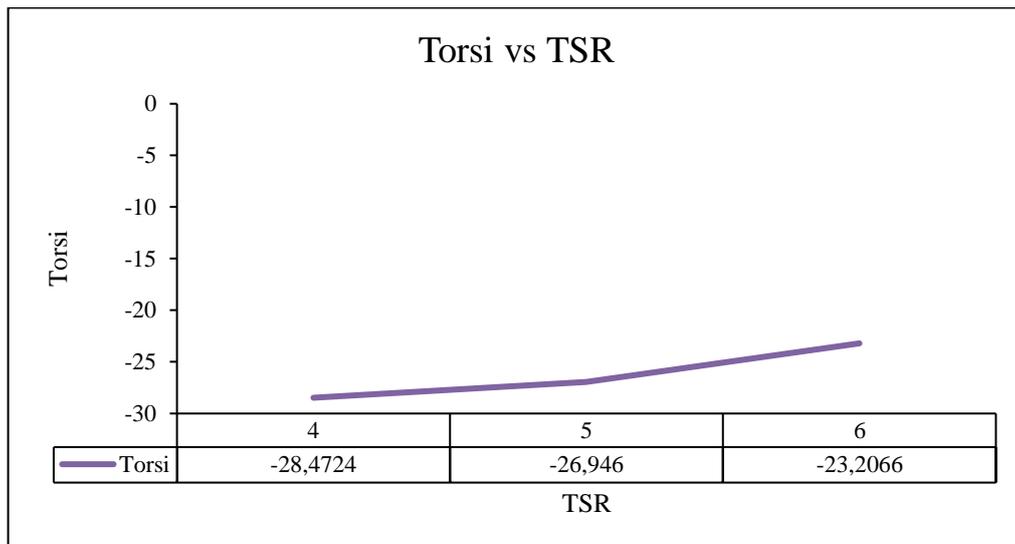
No	Velocity Inlet	Torque	Force
1	5 m/s	-23.2066	41.1588
2	6 m/s	-26.946	50.2899
3	7 m/s	-28.4724	55.1444

Tabel 2. Hasil results

Parameter	Naca 4412		
	5	6	7
Inlet	5	6	7
TSR	6	5	4
Rpm	143.3	143.3	133.7
Rps	2.388333333	2.388333333	2.228333333
gaya dorong	41.1588	50.2899	55.1444
koefisien gaya dorong	0.023008948	0.028113495	0.03541319
torsi	-23.2066	-26.946	-28.4724
daya	109	126,6	125,2
koefisien daya	3%	2%	1%



Gambar 7. Gaya dorong vs TSR



Gambar 8. Torsi vs TSR.

**KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil simulasi numerik dan pengolahan data, Penulis memperoleh kesimpulan yang di ambil dari hasil simulasi numerik rotor turbin angin dengan profil sudu naca 4412. hasil penelitian mendapatkan nilai Cp terbaik ada pada TSR 6, dengan presentasi nilai Cp mencapai 3%. Dan pengaruh daya terbaik terhadap TSR itu ada pada TSR 5 dengan daya 126,6 watt. Dan gaya dorong terbaik terhadap TSR berada pada TSR 4 dengan gaya dorong 55,1444 N. Dan torsi terbaik terhadap TSR berada pada TSR 4 dengan Torsi -28,4724 Nm. Adapun diantaranya kelebihan dalam penelitian ini dimana dapat memudahkan dalam menentukan parameter dalam pembuatan turbin yang akan dibangun, adapun kekurangan dalam proses penelitian ini memerlukan bahan uji yang lumayan mahal dalam prosesnya.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] Verdy A Koehuan , dan Jani F. Mandala (2020). Simulasi CFD Performa Aerodinamika Rotor Turbin Angin Counter-Rotating melalui Variasi Rasio Kecepatan Tip Blade dengan Solidity Konstan <http://ejurnal.undana.ac.id/LJTMU/article/download/3342/2189/> diakses pada 10 november 2021

[2] Firman aryanto, i made mara, made nuarsa (2013). Pengaruh kecepatan angin dan variasi jumlah sudu terhadap unjuk kerja turbin angin poros horizontal <https://media.neliti.com/media/publications/60681-ID-pengaruh-kecepatan-angin-dan-variasi-jum.pdf> diakses pada 10 november 2021

[3] Marwan Effendy dan Muchlisin (2019). Studi Eksperimental dan Simulasi Numerik Karakteristik Aerodinamika Airfoil NACA 4412 [https://www.researchgate.net/publication/335853973\\_Studi\\_Eksperimental\\_dan\\_Simulasi\\_Numerik\\_Karakteristik\\_Aerodinamika\\_Airfoil\\_NACA\\_4412](https://www.researchgate.net/publication/335853973_Studi_Eksperimental_dan_Simulasi_Numerik_Karakteristik_Aerodinamika_Airfoil_NACA_4412) diakses pada 12 november 2021

[4] Penelitian Numerik Turbin Angin Darrieus dengan Variasi Jumlah Sudu dan Kecepatan Angin Rahmat Taufiqurrahman dan Vivien Suphandani (2017) <https://media.neliti.com/media/publications/194132-ID-studi-numerik-turbin-angin-darrieus-deng.pdf> diakses pada 12 november 2021

[5] Mahdiy Pembuatan Mesh (2012) <https://mahdiy.wordpress.com/2012/09/26/pembuatan-mesh/> di akses pada 1 desember 2021

[6] Jakataru David Embang (2016). Analisis 2D airfoil naca 4412 menggunakan CFD pada variasi bilangan mach dan sudut serang [https://repository.usd.ac.id/6403/2/125214023\\_full.pdf](https://repository.usd.ac.id/6403/2/125214023_full.pdf) di akses pada 1 desember 2021

[7] Analisa aerodinamika bodi kendaraan ini menggunakan metode numerik computational fluid dynamic menggunakan software ANSYS FLUENT 18.1 <http://eprints.umm.ac.id/39005/4/BAB%20III.pdf> di akses pada 1 desember 2021

[8] Maret Engar Prasetya (2015) Studi Kinerja Turbin Angin Sumbu Horizontal NACA 4412 dengan Modifikasi Sudu Tipe Flat Pada Variasi Sudut Kemiringan 0°, 10°, 15°. <https://docplayer.info/37388775-Studi-kinerja-turbin-angin-sumbu-horizontal-naca-4412-dengan-modifikasi-sudu-tipe-flat-pada-variasi-sudut-kemiringan-0o-10-o-15-o.html> di akses pada 1 desember 2021



ISSN: 1907-5995

- [10] Tinjauan Umum Mengenai Angin [http://digilib.polban.ac .id/files/disk1 /151/jbtpolban-gdl-muhammadih-7520-3-bab2--9.pdf](http://digilib.polban.ac.id/files/disk1/151/jbtpolban-gdl-muhammadih-7520-3-bab2--9.pdf) di akses pada 1 desember 2021
- [11] Wiratama, C. (2021). *Teori dan Best Practices Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Sleman: AE Publisher.
- [12] Prasetyo, Angger Bagus, Azhim Asyratul Azmi, Didit Setyo Pamuji, dan Rizqi Yaqin. 2019. “Pengaruh Perbedaan Mesh Terstruktur dan Mesh Tidak Terstruktur Pada Simulasi Sistem Pendinginan Mold Injeksi Produk Plastik.” *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XIV Tahun 2019 (ReTII) 2019*(November): 400–406.
- [13] Prasetyo, Angger Bagus, dan Fauzun Fauzun. 2018. “Numerical study of effect of cooling channel configuration and size on the product cooling effectiveness in the plastic injection molding.” *MATEC Web of Conferences* 197: 8–11.
- [14] Prasetyo, Angger Bagus, Fauzun Fauzun, Azhim Azyratul Azmi, dan Rizqi Ilmal Yaqin. 2021. “Studi Numerik Kontur Pola Aliran Fluida Pendinginan Pada Mold Injeksi Molding.” *Infotekmesin* 12(1): 104–9.