

**NUMERICAL ANALYSIS OF THE EFFECT OF THE NUMBER OF TURBINE  
BLADES ON WIND TURBINE CHARACTERISTICS- AXIS  
HORIZONTAL NACA 4412**

*(Analisa numerik pengaruh jumlah sudu terhadap karakteristik turbin angin sumbu horizontal NACA 4412)*

Januar Ibrahim<sup>1</sup>

**ABSTRACT**

*The wind turbine is a device that can convert the kinetic energy in the wind into electrical energy. Wind turbine efficiency and performance depend on the design and angular shape of the wind turbine itself. The wind turbine used for analysis is a horizontal-axis wind turbine. This wind turbine performance analysis uses the Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation method so that it can reduce the time and cost required. Aerodynamic simulations on airfoils used at the wind turbine angle are carried out to determine the aerodynamic characteristics of the airfoils used. Airfoil NACA 4412 is used as the basic form of the corner wind turbine. In conducting this research, computational simulation experiments on the design of the Horizontal Axis Wind Turbine NACA 4412 wind turbine by varying the number of turbine blades, 2 blades, 3 blades, and 4 blades and to find out which variant produces a greater torque and efficiency. Based on the simulation results, the 2-blade turbine gets the highest torque at TSR 6, which is 3,167 N/m with an efficiency of 53.3%, the 3-blade turbine gets the highest torque at TSR 5, which is 3,334 N/m with an efficiency of 46, 8% then the variation with the number of 4 blade blades gets the highest torque and efficiency among other variations, at TSR 5, which is 4.201 N/m with an efficiency of 58.9%.*

**Keywords:** *Wind Turbine, CFD, Efficiency, HAWT*

**PENDAHULUAN**

Ketersediaan bahan bakar fosil di Indonesia belakangan ini semakin menipis karena pengaruh penggunaan bahan bakar fosil yang terlalu banyak. Selain itu, bahan bakar fosil juga menghasilkan kandungan-kandungan gas yang kurang baik bagi lingkungan sekitar. Oleh karena itu dibutuhkan sumber energi alternatif yang bersifat terbarukan, mudah didapat,

<sup>1</sup> Mercu Buana University, Indonesia

\*Corresponding author:

januaribrahim96@gmail.com

mudah diolah dan diharapkan nantinya dapat menggeser ketergantungan terhadap minyak bumi. Salah satu sumber energi alternatif yang sudah banyak digunakan adalah energi angin.

Turbin angin pembangkit listrik terdiri dari berbagai komponen dasar seperti rotor, generator, rantai penggerak, sistem kontrol, dan lainnya. Rotor yang tersambung dengan sudu turbin digerakan oleh angin dengan kecepatan tertentu dan mengakibatkan generator yang telah terhubung dengan putaran dari rotor dapat menghasilkan energi listrik dalam batas pengaturan sistem kontrol untuk kelistrikan itu sendiri. Turbin angin dikategorikan menjadi 2 tipe yaitu tipe sumbu vertikal atau *vertical-axis* dan tipe sumbu horizontal atau *horizontal-axis*. Pada kedua tipe tersebut terdapat beberapa kekurangan dan kelebihan masing-masing.

Tipe turbin angin yang dijadikan sebagai bahan penelitian pada tugas akhir ini adalah turbin angin tipe sumbu horizontal atau *Horizontal-Axis Wind Turbine* (HAWT). Turbin angin tipe sumbu horizontal diambil sebagai bahan penelitian pada tugas akhir ini karena turbin angin tipe ini memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin angin sumbu vertikal. Agar diperolehnya kinerja yang baik pada turbin angin, maka pemilihan *airfoil* untuk sudu turbin angin perlu diperhatikan. Terdapat banyak tipe *airfoil* yang telah digunakan sebagai bentuk dasar sudu turbin angin. Pada penelitian ini tipe *airfoil* yang digunakan adalah *airfoil* NACA 4412. Tipe ini diambil sebagai bahan penelitian karena *airfoil* jenis ini menghasilkan efisiensi aerodinamika yang baik dan tidak menimbulkan efek Venturi yang biasanya terjadi dibagian bawah *airfoil* (Ockfen & Matveev, 2009).

### **Turbin Angin Sumbu Horizontal**

Turbin angina sumbu horizontal merupakan turbin angin yang poros utamanya berputar sesuai arah angin. Pada turbin angin sumbu horizontal, arah angin harus sejajar dengan poros turbin. Turbin angin jenis ini cocok digunakan pada tipe angin sedang dan tinggi, dimana digunakan sebagai pembangkit listrik untuk skala besar (Natayuda, 2017).

Berdasarkan jumlah sudunya, turbin angin sumbu horizontal dibagi menjadi beberapa macam yaitu satu sudu, dua sudu, tiga sudu dan multi sudu. Satu sudu memiliki kelebihan yaitu biaya konstruksi murah, tetapi tidak memiliki keseimbangan pada berat sudu, dua sudu memiliki kelebihan dan kekurangan yang sama dengan satu sudu, tiga sudu menjadi jenis

turbin angin horizontal yang sering digunakan. Multi sudu memiliki *aerodynamic loading* yang lebih stabil (Mathew, 2006).



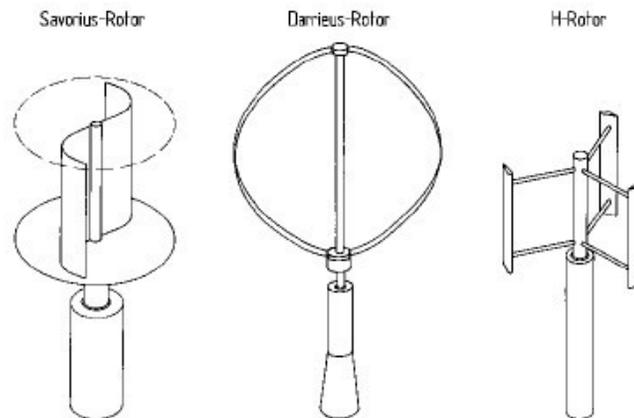
Gambar 1. Turbin Angin Sumbu Horizontal

### **Turbin Angin Sumbu Vertikal**

Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang sumbu rotasinya tegak lurus dengan permukaan tanah. Turbin angin sumbu vertikal dapat menerima angin dari segala arah (Mathew, 2006). Kelebihan dari turbin angin vertikal yaitu kestabilan struktur karena poros pemutar rotor yang terletak dekat dengan tanah. Selain itu, memiliki torsi tinggi sehingga dapat berputar dengan kecepatan angin yang rendah. Pada awalnya, turbin angin sumbu vertikal hanya untuk konversi energi mekanik, tetapi semakin perkembangan desain turbin tipe ini digunakan mengonversi energi listrik skala kecil.

Turbin angin sumbu vertikal memiliki kelemahan yaitu pada proses terkandung turbin tidak dapat melakukan starting sendiri efisiensi yang rendah dikarenakan letak instalasi yang rendah dari tanah sehingga tidak mendapatkan kecepatan angin yang cukup tinggi sehingga peletakan dari turbin diharuskan pada tempat yang tinggi. Selain itu, putaran kecepatan rotor yang tinggi berpengaruh pada konstruksi dari turbin angin (Mathew, 2006). Berdasarkan

bentuk sudu dan konstruksi turbin angin, turbin angin sumbu vertikal terdapat tiga tipe yaitu savonius, darrieus, dan darrieus-H atau H-rotor.



Gambar 2. Turbin Angin Sumbu Vertikal

### Tipe Speed Ratio

Tipe speed ratio yaitu rasio kecepatan sudu terhadap kecepatan udara. Rasio kecepatan ini merupakan parameter penting untuk analisa pada turbin angin, Tip speed ratio dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\lambda = \frac{\omega R}{V_0} \quad (1)$$

Dengan,

$\lambda$  = Tip speed ratio

$\omega$  = Kecepatan sudut rotor turbin (rad/s)

$R$  = Jari-jari rotor (m)

$V_0$  = Kecepatan awal udara (m/s)

### Koefisien Daya ( $C_p$ )

Koefisien daya merupakan perbandingan antara nilai energi mekanik yang dihasilkan dari putaran rotor dengan energi mekanik dari angin yang melintasi rotor (Reddy, 2017). Adapun

persamaan dari koefisien daya sebagai berikut.

$$C_p = \frac{P_{mekanik}}{P_{angin}} \quad (2)$$

$P_{mekanik}$  merupakan nilai daya yang didapatkan dari hasil pengujian turbin angin. Adapun persamaan dari  $P_{mekanik}$  yaitu:

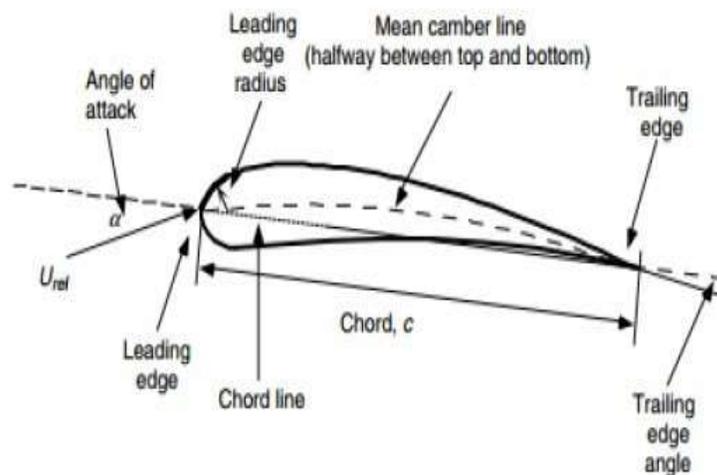
$$P_{mekanik} = \frac{2\pi \cdot nT}{60} \quad (3)$$

Sedangkan, persamaan untuk  $P_{angin}$  yaitu:

$$P_{angin} = \frac{1}{2} \rho v^3 A \quad (4)$$

### Airfoil

*Airfoil* adalah suatu bentuk geometri yang dirancang dapat menghasilkan gaya angkat atau efek aerodinamika ketika terdapat distribusi tekanan udara pada bagian atas dan bawah permukaan airfoil (Natayuda, 2017).



Gambar 3. Bagian-bagian *airfoil*

Pengertian dari bagian-bagian airfoil adalah sebagai berikut:

- *Leading edge*, merupakan bagian permukaan paling depan dari airfoil yang berbentuk setengah lingkaran.
- *Trailing edge*, merupakan bagian permukaan paling belakang dari airfoil berbentuk lancip, biasanya jari – jari dari *leading edge* sejajar dengan garis dari *trailing edge*.
- *Chord line*, merupakan garis lurus yang menghubungkan permukaan depan (*leading edge*) dengan permukaan belakang (*trailing edge*).
- *Chamber of Upper Surface*, merupakan permukaan atas pada airfoil.
- *Chamber of Lower Surface*, merupakan permukaan bawah pada airfoil.
- *Chamber*, merupakan jarak maksimum antara *mean chamber line* dan garis *chord*.
- *line* yang membentang tegak lurus terhadap garis *chord*.
- *Thickness*, merupakan ketebalan antara permukaan atas dan permukaan bawah yang terukur tegak lurus terhadap garis *chord*.

### **Betz Limit**

Betz limit merupakan nilai efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh setiap turbin angin, menurut Betz, seorang insinyur Jerman, besarnya energy yang maksimum dapat diserap dari angin adalah hanya 0.59259 dari energi yang tersedia atau 16/27. Tidak ada turbin yang dapat mengekstraksi energi sebesar 100% aliran udara akan melewati turbin angin (Jain, 2011). Besarnya efisiensi teoritis atau maksimum dari turbin angin  $C_p$  adalah:

$$c_p = \frac{16}{27} = 0,593 \quad (5)$$

Dengan kata lain, turbin angin dapat mengkonversikan tidak lebih dari 60% tenaga total angin menjadi tenaga yang dapat digunakan. *Betz* adalah orang pertama yang menemukan nilai ini, untuk itu nilai ini disebut juga dengan *Betz factor*.

### **Konsep Computational Fluid Dynamics (CFD)**

*Computational Fluid Dynamics* digunakan dalam penelitian mengenai analisa aliran

dinamika fluida. CFD menyediakan simulasi aliran dengan solusi *numeric*. Selain itu, CFD juga digunakan pada penelitian mengenai analisa rancangan turbin angin sehingga dapat diketahui performa dari turbin angin. CFD juga mampu melakukan komputasi distribusi tekanan, kecepatan aliran fluida dan lain sebagainya (Natayuda, 2017).

## METODE PENELITIAN

Pada penelitian kali ini menggunakan metode simulasi *Ansys Computation Fluid Dynamics (CFD)*. Hasil simulasi yang telah di validasi akan menghasilkan desain turbin angin sumbu horizontal dengan jumlah sudu yang tepat. Berikut *Flow Chart* dari penelitian yang akan dilakukan seperti pada Gambar 4.

## Desain Gambar

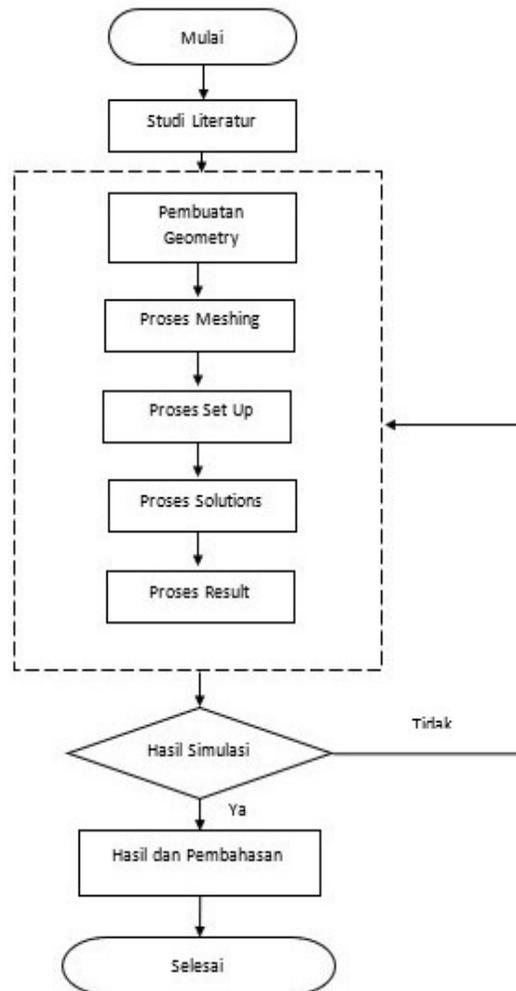
Pembuatan desain di dalam penelitian ini menggunakan lunak Solidworks 16 dan untuk analisa CFD menggunakan Ansys Fluent. Komponen-komponen yang di gambar adalah sebagai mana pada gambar 5.

## Simulasi Numerik

Pada simulasi CFD ini, digunakan untuk mencari torsi dari turbin angin yang telah di desain sehingga memperoleh data numerik. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Tahap Geometri: Tahap geometri adalah sebuah proses import (memasukan) model yang telah dibuat di perangkat lunak *Solidworks 2016* yang kemudian akan di *import* ke dalam perangkat lunak *Ansys R17* yang nantinya akan dilakukan simulasi.
2. Tahap *Meshing*: Pada tahap *mesh*, di lakukan pencacahan objek menjadi elemen-elemen kecil yang dihubungkan oleh titik-titik (*nodes*). Semakin kecil *meshing* yang dikerjakan maka hasil perhitungan akan semakin rinci tetapi memerlukan daya komputasi yang besar.
3. Tahap *Setup*: Pada pembentukan karakteristik fluida ini akan memanfaatkan salah satu *software* analisa komputasi dinamik atau *Computational Fluid Dynamic (CFD)*. Langkah pertama yang harus dijalankan yaitu dengan membuka proses selanjutnya setelah *mesh*

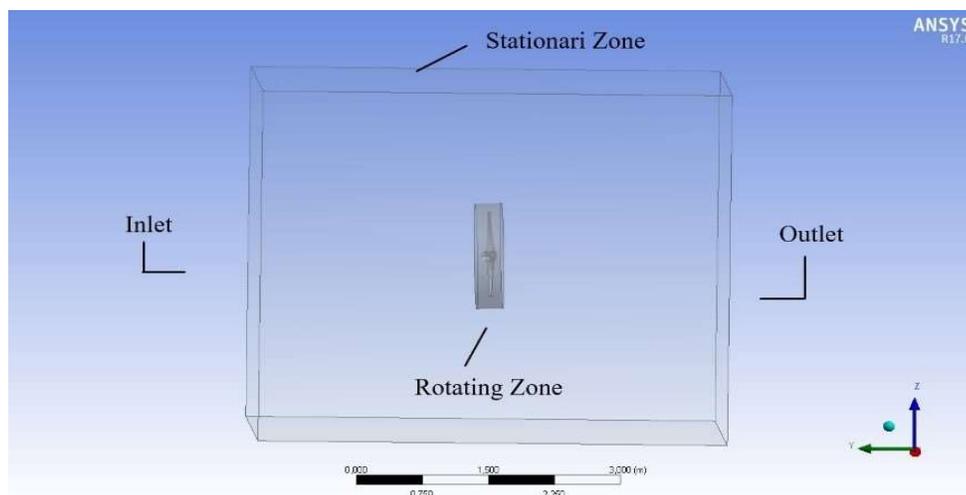
yaitu *setup*, yang secara langsung membawa kita ke *software CFD- Pre* dengan fitur 3D.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

4. Tahap *Solution*: Tahap *Solution* merupakan proses *running* simulasi untuk mendapatkan hasil analisis numerik berupa *moment* turbin. Tahap *solution* di atur sampai mencapai target yang di tentukan. Proses *running* simulasi akan berhenti sampai mencapai target iterasi yang di tentukan.

5. Tahap *Result*: Tahap *result* di gunakan untuk mengetahui hasil simulasi. Beberapa hal yang dapat dilakukan untuk melihat hasil dalam tahap ini adalah menampilkan kontur kecepatan dan kontur tekanan.



Gambar 5. Adressing Zone Turbine

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi yang akan di dapatkan untuk mengetahui pengaruh perubahan jumlah sudu Turbin Angin Sumbu Horizontal NACA 4412 pada performasinya menggunakan metode CFD atau komputasi fluida dinamika.

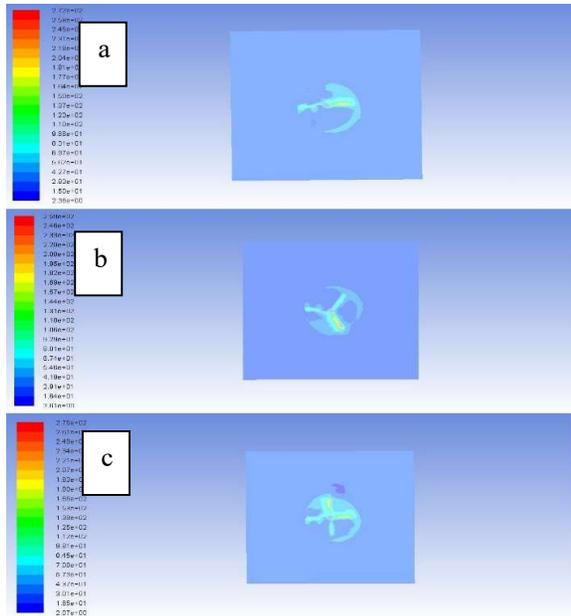
### Kontur Kecepatan

Proses analisis pada prototipe turbin angin sumbu horizontal NACA 4412 menggunakan perangkat lunak ANSYS FLUENT 17.0. Dapat di lihat bahwa dari kontur warna kuning setiap melewati sudu turbin memperlihatkan bahwa desain turbin sudu *4 blade* dengan jumlah sudu yang lebih banyak membuat pergesekan antara udara dan turbin menjadi lebih banyak sehingga membantu pergerakan turbin menjadi lebih baik diantara variasi yang lainnya.

Kemampuan sudu pada turbin. Seperti yang terlihat pada gambar 6 kontur kecepatan Variasi *4 blade* terlihat memiliki kecepatan yang paling cepat mengkonversi energi dari angin menjadi energi kinetik pada turbin sebanding dengan banyaknya jumlah.

**Perbandingan Kontur Tekanan Dengan Kecepatan**

Setelah proses *setup* dan *solutions*. Berikut pada gambar 7 menunjukkan perbandingan antara kontur tekanan dan kecepatan hasil simulasi CFD pada turbin angin sumbu horizontal NACA 4412 Variasi 2 blade, 3 blade, 4 blade.



Gambar 6. a) Kontur Kecepatan Turbin 2 blade, b) Kontur Kecepatan Turbin 3 Blade, c) Kontur Kecepatan Turbin 4 Blade

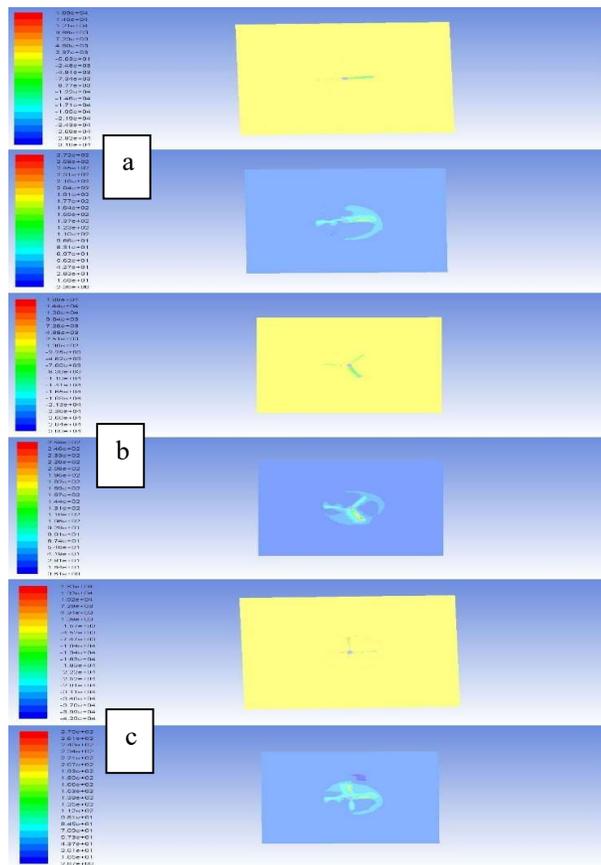
Dari gambar 7 dapat di simpulkan bahwa kenaikan kecepatan aliran fluida akan menyebabkan penurunan tekanan fluida itu sendiri, seperti persamaan hukum *Bernoulli*.

**Analisis Perbandingan Torsi**

Pada tahap *setup* terdapat menu *monitor*, dengan memanfaatkan menu tersebut didapatkan nilai torsi untuk penambahan jumlah sudu Turbin Angin Sumbu Horizontal NACA 4412. Hasil nilai Torsi Turbin Turbin Angin Sumbu Horizontal NACA 4412 untuk ketiga variasi jumlah sudu akan dibandingkan. Hasil variasi selengkapnya dapat ditunjukkan oleh Tabel 1.

Pada Tabel 1 dan Gambar 8 menunjukkan nilai torsi Turbin Angin Sumbu Horizontal NACA 4412 di berbagai variasi dengan kecepatan angin yang sama. Tampak bahwa nilai torsi

dari Turbin Angin Sumbu Horizontal NACA 4412 di berbagai variasi mengalami kenaikan dengan jumlah sudu yang lebih banyak. Maka dari itu variasi *4 blade* mendapatkan torsi yang paling tinggi di TSR 5, yaitu sebesar 4,201 N/m. Variasi *3 blade* mendapatkan nilai torsi paling tinggi di TSR 5, sebesar: 3,334 N/m. Sedangkan Variasi *2 blade* mendapatkan nilai torsi paling tinggi di TSR 6, sebesar: 3,167 N/m.



Gambar 7. a) Kontur Tekanan Dengan Kecepatan Turbin *2 Blade*, b) Kontur Tekanan Dengan Kecepatan Turbin *3 Blade*, c) Kontur Tekanan Dengan Kecepatan Turbin *4 Blade*

**Analisis Perbandingan Torsi Dan Efisiensi**

Nilai torsi yang telah diketahui selanjutnya dihitung sehingga didapatkan daya dari Turbin Angin Sumbu Horizontal NACA 4412 dengan kecepatan angin yang sama sebesar 3

m/s.

1. Variasi 2 blade

- Perhitungan nilai daya angin:

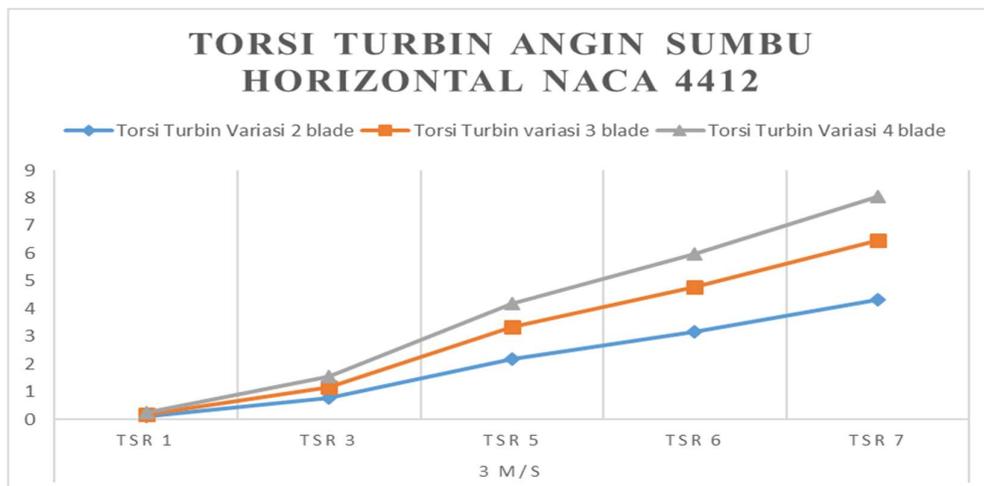
$$P_{angin} = \frac{1}{2} \rho v^3 A$$

$$P_{angin} = \frac{1}{2} (1,221 \text{kg/m}^3) (3 \text{ m/s})^3 \cdot \pi \cdot (0,6 \text{ m})^2$$

$$P_{angin} = 18,632 \text{ watt}$$

Tabel 1. Tabel Torsi Turbin

Torsi Turbin				
Kecepatan Angin (m/s)	TSR	Variasi 2 blade	Variasi 3 blade	Variasi 4 blade
3 m/s	TSR 1	0,118	0,176	0,237
	TSR 3	0,789	1,158	1,556
	TSR 5	2	3,334	4,201
	TSR 6	3,167	4,773	5,971
	TSR 7	4,311	6,461	8,039



Gambar 8. Grafik Torsi Turbin Angin Sumbu Horizontal NACA 4412

- Perhitungan nilai daya turbin:

$$P_{mekanik} = \frac{2\pi \cdot nT}{60}$$

$$P_{mekanik} = \frac{2\pi \cdot (30) \cdot (3,167 \text{ Nm})}{60}$$

$$P_{mekanik} = 9,944 \text{ watt}$$

## 2. Variasi 3 blade

- Perhitungan nilai daya angin:

$$P_{angin} = \frac{1}{2} \rho v^3 A$$

$$P_{angin} = \frac{1}{2} (1,221 \text{ kg/m}^3) (3 \text{ m/s})^3 \cdot \pi \cdot (0,6 \text{ m})^2$$

$$P_{angin} = 18,632 \text{ watt}$$

- Perhitungan nilai daya turbin:

$$P_{mekanik} = \frac{2\pi \cdot nT}{60}$$

$$P_{mekanik} = \frac{2\pi \cdot (25) \cdot (3,334 \text{ Nm})}{60}$$

$$P_{mekanik} = 8,723 \text{ watt}$$

## 3. Variasi 4 blade

- Perhitungan nilai daya angin:

$$P_{angin} = \frac{1}{2} \rho v^3 A$$

$$P_{angin} = \frac{1}{2} (1,221 \text{ kg/m}^3) (3 \text{ m/s})^3 \cdot \pi \cdot (0,6 \text{ m})^2$$

$$P_{angin} = 18,632 \text{ watt}$$

- Perhitungan nilai daya turbin:

$$P_{mekanik} = \frac{2\pi \cdot nT}{60}$$

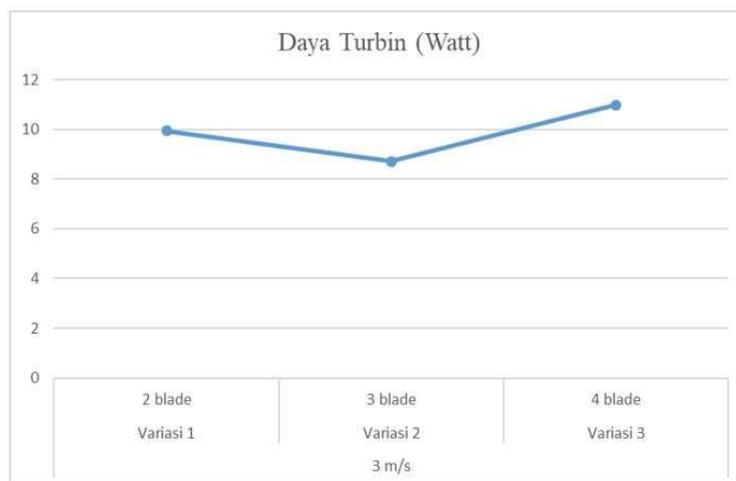
$$P_{mekanik} = \frac{2\pi \cdot (25) \cdot (4,201 \text{ Nm})}{60}$$

$$P_{mekanik} = 10,992 \text{ watt}$$

Pada gambar 9 daya tertinggi terlihat pada variasi 3 lalu diikuti variasi 1 dan variasi 2, hal ini dikarenakan  $C_p$  turbin 3 blade hanya menghasilkan 0,468 dengan TSR paling optimum di TSR 5 yang artinya paling rendah di antara variasi yang lain.

Tabel 2. Daya Turbin Angin

Daya Turbin			
Kecepatan Angin (m/s)	Turbin	Jumlah Sudu	Daya (Watt)
3 m/s	Variasi 1	2 blade	9,944
	Variasi 2	3 blade	8,723
	Variasi 3	4 blade	10,992



Gambar 9. Grafik Daya Turbin Angin Sumbu Horizontal *NACA 4412*

### Analisis Perbandingan Efisiensi

Untuk mencari efisiensi dari turbin diperlukan nilai  $P_{mekanik}$  yaitu nilai daya turbin dan  $P_{angin}$  yaitu nilai daya angin. Yang kemudian akan dihitung menggunakan persamaan berikut.

- Variasi I ( 2 blade )

$$C_p = \frac{P_{mekanik}}{P_{angin}} \times 100\%$$

$$C_p = \frac{9,944}{18,632} = 0,533 \times 100\% = 53,3 \%$$

Efisiensi yang dihasilkan oleh Variasi I dengan jumlah sudu 2 blade adalah 53,3 %

2. Variasi II ( 3 blade )

$$C_p = \frac{P_{mekanik}}{P_{angin}} \times 100\%$$

$$C_p = \frac{8,723}{18,632} = 0,468 \times 100\% = 46,8 \%$$

Efisiensi yang dihasilkan oleh Variasi II dengan jumlah sudu 3 blade adalah 46,8%

Tabel 3. Efisiensi Turbin Angin Sumbu Horizontal NACA 4412

Efisiensi Turbin			
Kecepatan Angin (m/s)	Turbin	Jumlah Sudu	Efisiensi (%)
3 m/s	Variasi 1	2 blade	53,3
	Variasi 2	3 blade	46,8
	Variasi 3	4 blade	58,9



Gambar 10. Grafik Efisiensi Turbin Angin Sumbu Horizontal NACA 4412

### 3. Variasi III ( 4 blade )

$$C_p = \frac{P_{mekanik}}{P_{angin}} \times 100\%$$

$$C_p = \frac{10,992}{18,632} = 0,589 \times 100\% = 58,9 \%$$

Efisiensi yang dihasilkan oleh Variasi III dengan jumlah sudu 4 blade adalah 58,9%

Pada Gambar 10 menunjukkan grafik efisiensi Turbin Angin Sumbu Horizontal NACA 4412 ketiga variasi jumlah sudu turbin. Berdasarkan pada Gambar 4.12 efisiensi tertinggi terlihat pada variasi variasi 3 (4 blade) lalu diikuti variasi 1 (2blade) dan variasi 2 (3blade). Hal ini dikarenakan semakin besar nilai Cp yang di hasilkan maka efisiensinya akan semakin besar.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pada hasil dan pembahasan, maka dapat disimpulkan:

1. Berdasarkan grafik perbandingan torsi yang telah didapatkan dari hasil simulasi, nilai torsi variasi 3 (Turbin 4 blade) mendapatkan nilai torsi yang paling tinggi diantara variasi jumlah sudu turbin lainnya pada TSR 5, yaitu sebesar 4,201 N/m.
2. Berdasarkan nilai perolehan torsi dan daya Turbin Angin Sumbu Horizontal NACA 4412 di ketiga variasi. Diketahui bahwa variasi 3 (Turbin 4 blade) memiliki nilai efisiensi terbaik dengan Cp 0,589 atau efisiensi sebesar 58,9 %

## DAFTAR PUSTAKA

- Cao, H. (2011). *Aerodynamics Analysis of Small Horizontal Axis Wind Turbine Blades by Using 2D and 3D CFD Modelling*.
- Hansen, M. O. L. (2008). *Aerodynamics of Wind Turbines Second Edition* (Second Edi, Vol. 4, Issue 3).
- J. F. Manwell; J. G. McGowan, A. L. R. (2009). *Wind Energy Explained\_ Theory, Design and Application, Second Edition*.
- Jain, P. (2011). Wind Energy Engeenering. In *Journal of Experimental Psychology: General* (Issue 1). McGraw-Hill.

- Kartiasih, F., Syaukat, Y., & Anggraeni, L. (2012). Determinan Intensitas Energi di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia*, 12(2).  
<https://doi.org/10.21002/jepi.v12i2.497>
- Mathew, S. (2006). *Windy Energy*.
- Natayuda, G. (2017). Analisa Aerodinamika dan Kinerja Turbin Angin Tipe Sumbu Horizontal Menggunakan Computational Fluid Dynamics. *Universitas Jendral Achmad Yani, September 2017*.
- Ockfen, A. E., & Matveev, K. I. (2009). Aerodynamic characteristics of NACA 4412 airfoil section with flap in extreme ground effect. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 1(1), 1–12.
- Pritchard, P. J. (2011). *Fox and McDonalds Introduction to Fluid Mechanics*.
- Sukanda, J. M. (2019). *SIMULASI PENGARUH ASPEK RASIO DAN SUDUT SERANG TERHADAP PERFORMA TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL H-ROTOR DENGAN CFD 3D*.
- Airfoil tools, NACA 4412 airfoil, <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca4412-i>  
www.Ansys.com. (n.d.). Ansys. Ansys 2018