

# SIMULASI PENGARUH JUMLAH DAN PANJANG SUDU TERHADAP DAYA TURBIN ANGIN TIPE POROS HORIZONTAL

Josua N. Simanjuntak<sup>1)</sup>, Stanley Tangkuman<sup>2)</sup>, Irfan Rondonuwu<sup>3)</sup>

Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi

Jln. Kampus UNSRAT, Manado

## ABSTRAK

Pembangkit listrik tenaga angin adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit ini mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Tujuan penelitian ini ada dua, yang pertama adalah membuat simulasi aliran angin pada turbin tipe poros horisontal dengan variasi panjang dan jumlah sudu. Kedua yaitu menganalisa pengaruh panjang dan jumlah sudu terhadap daya output turbin angin berdasarkan hasil simulasi. Hasil penelitian ini adalah pada setiap penambahan variasi jumlah dan panjang turbin angin menggunakan perangkat lunak Ansys 2020 R1, daya yang dihasilkan oleh turbin angin akan semakin besar. Daya terbesar didapat pada variasi turbin dengan jumlah sudu 6 dan panjang 2 meter adalah sebesar 1290 Watt.

## ABSTRACT

*Wind power is a power plant that uses wind as an energy source to produce electrical energy. This plant converts wind energy into electrical energy using wind turbines or windmills. The purpose of this study was to obtain the simulation result of comparison wind turbine power on variations number and length. The conclusion of this study is increasing number and length of sudus in the Ansys 2020 R1 simulation, the greater power produced. The greatest power was obtain in the variation of the turbine with a number of sudus 6 and 2 meter of length is 1290 Watt.*

**Keywords:** Horizontal axis wind turbine, Simulation, Power, Torque

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan energi angin di Indonesia untuk saat ini masih tergolong rendah. Salah satu penyebabnya adalah karena kecepatan angin rata-rata di wilayah Indonesia tergolong kecepatan angin rendah, yaitu berkisar antara 3m/s hingga 5 m/s sehingga sulit untuk menghasilkan energi listrik dalam skala besar. Meskipun demikian, potensi angin di Indonesia tersedia hampir sepanjang

tahun sehingga kemungkinan untuk dikembangkan sistem pembangkit listrik skala kecil.

Turbin angin adalah alat yang berfungsi mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Putaran poros tersebut kemudian digunakan untuk beberapa hal sesuai kebutuhan seperti memutar dinamo atau generator untuk menghasilkan energi listrik. Energi angin merupakan sumber

energi yang cukup menjanjikan mengingat sifatnya yang berkelanjutan serta keberadaannya yang melimpah. Angin adalah sumber energi yang diharapkan mampu mengatasi permasalahan kebutuhan energi dimasa yang akan datang, setelah energi konvensional sudah tidak tersedia dan tidak ramah lingkungan.

Turbin angin merupakan salah satu bentuk teknologi nyata dalam mengkonversi energi angin menjadi energi listrik. Turbin angin berdasarkan posisi sumbu putar terbagi dua jenis, yaitu turbin angin sumbu horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine*) dan turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*) yang masing – masing memiliki kelebihan dan keunggulan tersendiri.

Banyak peneliti telah meneliti tentang turbin angin. Satu diantaranya (Rachmanu, 2016) telah meneliti tentang turbin angin sumbu vertikal. Peneliti ini meneliti tentang analisa kekuatan pada turbin angin sumbu vertikal menggunakan perangkat lunak.

Untuk tujuan simulasi aliran angin dan analisa pengaruh variasi jumlah dan panjang sudu turbin angin, penulis menggunakan metode simulasi menggunakan perangkat lunak. Alasan menggunakan perangkat lunak adalah

efisien dalam hal waktu dan biaya. Dengan menggunakan simulasi, penulis dapat menciptakan banyak variasi turbin angin tanpa harus mengeluarkan biaya produksi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana proses simulasi untuk menentukan daya dengan perbedaan jumlah dan panjang sudu pada turbin angin tipe poros horisontal.

## **II. LANDASAN TEORI**

### **2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Angin**

Pembangkit listrik tenaga angin adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit ini mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Energi angin sebagai sumber energi merupakan sistem alternatif yang sangat berkembang pesat, mengingat angin merupakan salah satu energi yang tidak terbatas di alam.

### **2.2 Turbin Angin Sumbu Horisontal**

*Horizontal Axis Wind Turbines* (HAWT) atau Turbin Angin Sumbu Horisontal (TASH) merupakan turbin angin yang memiliki poros rotor utama yang

diarahkan secara paralel terhadap arah angin.

### 2.3 Parameter Desain Turbin Angin

Parameter dalam proses simulasi turbin angin perlu dibahas. Parameter-parameter desain turbin angin tersebut adalah Daya Turbin ( $P_T$ ) dan Kecepatan Sudut ( $\omega$ ). Berdasarkan pengujian momen yang dihasilkan pada dua jenis turbin angin tersebut, fluktuasi momen turbin angin sumbu horizontal cenderung kecil. Sedangkan, fluktuasi momen turbin angin sumbu vertikal cenderung besar.

#### 2.3.1. Daya Turbin ( $P_T$ )

Daya yang dihasilkan turbin dapat ditentukan dari persamaan sebagai berikut.

$$P_T = \frac{2 \pi n T}{60}$$

Daya teoritis sebuah turbin dapat dihitung dengan persamaan koefisien daya yaitu  $C_p$ , berikut persamaan tersebut. (Hau, E., 2013)

$$C_p = \frac{P_{Te}}{P_w} = \frac{P_{Te}}{\frac{1}{2} \rho A u^3}$$

#### 2.3.2. Kecepatan Sudut ( $\omega$ )

Kecepatan sudut adalah besaran vektor yang menyatakan frekuensi sudut suatu benda dan sumbu putarnya. Pada turbin angin hubungan kecepatan sudut melalui *Tip speed ratio* turbin. *Tip speed*

*ratio* (TSR) merupakan perbandingan antara kecepatan tangensial sudut turbin dengan kecepatan angin (Hau, E., 2013). TSR dapat diformulasikan sebagai berikut.

$$\lambda = \frac{V_t}{V_w}$$

Kecepatan sudut turbin ketika menghasilkan daya optimum, dapat dihitung dengan persamaan kecepatan sudut optimum, berikut persamaan kecepatan sudut optimum.

$$\omega_{opt} = \frac{2\pi \bar{u}}{nL}$$

### 2.4 Airfoil NACA

Karakteristik turbin angin ditunjukkan pada profil *airfoil* dari turbin tersebut. *Airfoil* adalah penampang melintang yang pada umumnya digunakan pada sayap pesawat, sudu rotor dari pesawat, dan pada sudu turbin angin baik dari turbin angin sumbu vertikal maupun turbin angin sumbu horisontal. *Airfoil* NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) adalah bentuk bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk dapat memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya dan dengan bantuan penyelesaian matematis sangat memungkinkan untuk memprediksi berapa besarnya gaya

angkat yang dihasilkan oleh suatu bodi *airfoil*.

## 2.5 *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah disiplin ilmu tentang simulasi numerik aliran fluida. Perkembangan ilmu dan teknologi analisis mekanika fluida menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang begitu pesat membuat metode ini menjadi trend di berbagai industri, baik untuk riset teoritis, desain ataupun kepentingan presentasi ide baru pada klien.

Mekanika fluida merupakan ilmu yang sangat mendasar dalam dunia fisika dan *engineering*, penerapannya sangatlah banyak dan variatif, mulai dari desain roket dan pesawat terbang hingga analisis biomedis. Meskipun ilmu ini sudah cukup lama berkembang dan digunakan, namun formulasi-formulasi dari hukum fluida ini masih banyak yang belum terpecahkan, misalkan persamaan Navier-stokes yang merupakan persamaan fluida dengan bentuk diferensial non-linear.

## 2.6 Simulasi

Simulasi adalah metode pelatihan yang meragakan sesuatu

dalam bentuk tiruan yang mirip dengan keadaan sesungguhnya. Dalam bidang teknik, simulasi sering digunakan dalam hal perhitungan alternatif sebagai ganti dari sistem eksperimen.

### 2.6.1. Keberhasilan Proses Simulasi

Indikator keberhasilan proses simulasi simulasi dapat dipantau dari grafik proses komputasi, yang dilihat pada grafik *scaled residuals*. Grafik tersebut secara sederhana mengindikasikan “jumlah bilangan di belakang nol koma” pada simulasi, atau dengan kata lain semakin turun grafiknya, solusi *CFD* semakin mendekati nilai tertentu, atau dalam bahasa komputasi disebut juga dengan kondisi konvergen. Jika grafik tersebut terus turun atau mulai lurus, maka simulasi berjalan dengan baik dan tidak ada indikasi *error*. Namun jika grafik residual tersebut naik, maka mengindikasikan terjadinya kondisi divergen, jika divergen tersebut cukup intens maka simulasi bisa menjadi *error* dan tiba-tiba berhenti.

### 2.6.2. Validasi Hasil Simulasi

Suatu simulasi dapat diterima/diakui apabila sudah dilakukan validasi hasil simulasi. Setidaknya ada tiga cara melakukan validasi hasil simulasi, yaitu:

1. Membandingkan hasil simulasi dengan hasil analitis. Yang dimaksud dengan hasil analitis adalah hasil perhitungan manual (*hand calculation*) atau perhitungan teoretis. Jika pembuat simulasi tidak memiliki hasil analitis, dapat juga menggunakan hasil analitis peneliti yang lain asalkan parameternya sama.
2. Membandingkan hasil simulasi dengan hasil eksperimen. Jika pembuat simulasi tidak sampai melakukan eksperimen, maka dapat juga menggunakan hasil eksperimen peneliti yang lain asalkan parameternya sama.
3. Membandingkan hasil simulasi dengan hasil simulasi lain yang menggunakan perangkat lunak yang berbeda. Cara ini juga dapat menggunakan hasil simulasi peneliti lain asalkan parameternya sama.

Nilai perbedaan dari validasi dengan menggunakan metode-metode di atas, harus dalam rentang yang relatif kecil. Secara umum nilai perbedaan/selisih yang dianggap pantas adalah tidak melebihi 5 %.

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi (Unsrat). Dan waktu pelaksanaan mulai 25 Juli sampai dengan 25 September 2020.

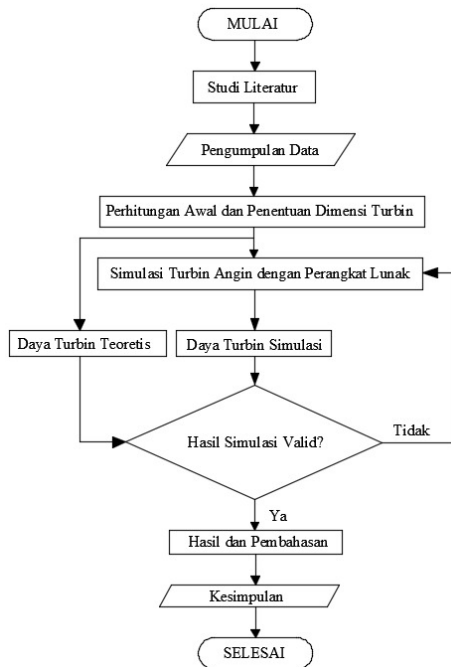
#### **3.2 Bahan dan Peralatan**

Alat yang digunakan pada penelitian adalah perangkat komputer untuk proses simulasi. Dalam perangkat komputer digunakan perangkat lunak yaitu Ansys 2020 R1 *Student Version*.

#### **3.3 Prosedur Penelitian**

Prosedur penelitian dilakukan seperti pada Gambar 1. Berdasarkan gambar, terdapat 8 tahapan dalam penelitian ini. Tahap pertama adalah studi literatur. Tahap kedua adalah pengambilan data awal kecepatan angin. Tahap ketiga adalah perhitungan awal dan penentuan dimensi pada turbin. Tahap keempat adalah simulasi turbin dengan menggunakan perangkat lunak. Tahap kelima adalah perhitungan daya teoretis dan daya turbin simulasi. Tahap keenam adalah validasi hasil simulasi. Jika hasil dari simulasi merupakan hasil yang valid, maka dapat dilanjutkan pada

tahap berikutnya. Tahap ketujuh adalah Hasil dan pembahasan dari simulasi. Tahap terakhir adalah kesimpulan dan saran.

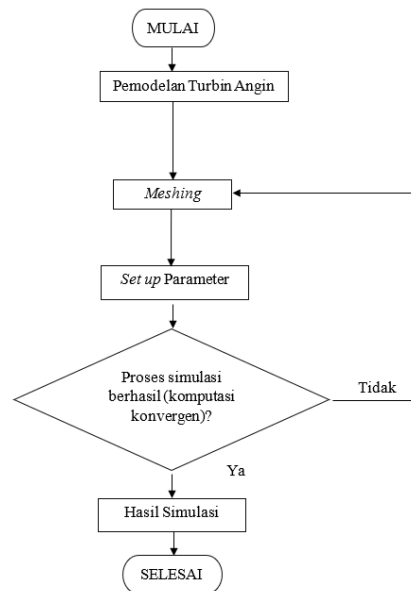


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 3.4 Proses Simulasi

Simulasi turbin angin tipe poros horisontal pada penelitian ini dilakukan dalam lima langkah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Langkah pertama adalah permodelan turbin. Langkah kedua adalah persiapan *meshing* dari turbin. Persiapan geometri sudah dilakukan dengan perangkat lunak CAD. Dalam perangkat lunak Ansys 2020 R1 Academic, jumlah *mesh* yang boleh diterapkan maksimal 512000 elemen *mesh*. Langkah ketiga adalah *set*

*up* parameter turbin dan simulasi. Adapun parameter-parameter yang dimaksud adalah, kecepatan udara, kecepatan awal sudut turbin, model turbulensi fluida, tekanan lingkungan, material fluida, dan material turbin (material turbin yang dipakai adalah material *default* yang ditentukan oleh perangkat lunak). Langkah keempat adalah memastikan bahwa simulasi valid berdasarkan hasil komputasi akan menunjukkan data yang konvergen. Jika hasil data bersifat konvergen maka dapat dilanjutkan pada Langkah selanjutnya, jika terjadi error maka akan kembali pada langkah kedua yaitu persiapan *meshing*. Langkah terakhir adalah berupa hasil simulasi yang akan dikalkulasi menggunakan persamaan daya.



Gambar 2. Diagram Alir Simulasi

### 3.5 Data Klimatologi

Data Klimatologi (Kecepatan angin, temperatur, dan lain – lain) diperoleh dari website Badan Pusat Statistik ([www.bps.go.id](http://www.bps.go.id)) selama 5 tahun (2011 – 2015). Data yang digunakan adalah kecepatan angin maksimum dinyatakan dalam m/s. Data kecepatan angin diperoleh 4,2 m/s – 8.3 m/s.

## IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

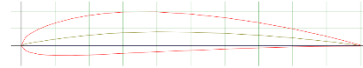
### 4.1 Spesifikasi Turbin Angin

Turbin yang digunakan dalam penelitian ini adalah turbin angin dengan sumbu horisontal (*Horizontal Axis Wind Turbine*). Variasi – variasi yang akan dibahas adalah perbandingan dari jumlah dan panjang sudu. Variasi jumlah yang digunakan adalah 2, 3, 4, dan 6. Variasi panjang yang digunakan adalah 1meter, 1,5meter, dan 2meter. Desain turbin angin yang akan disimulasikan menggunakan sudu dengan profil *airfoil* seperti dijelaskan berikut ini.

#### 4.1.1 Pemilihan *Airfoils*

*Airfoils* yang dipilih adalah *airfoils* dengan NACA 4412, berdasarkan data penelitian yang diambil dari *website* yang menyajikan data spesifikasi profil *airfoil* dan hasil penelitiannya. Berikut spesifikasi profil *airfoil* NACA 4412

dengan Nilai rasio maksimal  $C_l / C_d$  NACA 4412 sebesar 56,1 pada  $\alpha$  (Angle of Attack) =  $8,5^\circ$  dengan nilai  $C_l = 1,3086$  dan  $C_d = 0,0233$ . ([airfoiltools.com](http://airfoiltools.com))



### 4.2 Permodelan Turbin Angin dengan Perangkat Lunak

Permodelan Turbin menggunakan perangkat lunak CAD. Permodelan turbin dibuat berdasarkan variasi – variasi yang akan disimulasikan yaitu variasi jumlah dan panjang sudu.



Gambar 4. Desain Turbin Angin

### 4.3 Perhitungan Kecepatan Sudut

Perhitungan kecepatan sudut turbin dihitung dengan nilai yang telah diketahui adalah *tip speed ratio* sebesar 2, kecepatan angin adalah 8,3 m/s , dan juga jari – jari dari turbin :

$$\lambda = \frac{\omega R}{V_w}$$

$$\omega = \frac{\lambda V_w}{R}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot 8,3 \text{ m/s}}{1 \text{ m}} = 16,6 \text{ rad/s}$$



Tabel 1. Hasil Kecepatan Sudut

Panjang Blade (m)	$\omega$ (rad/s)
1	16,6
1,5	11,066
2	8,3

Nilai dari kecepatan sudut untuk kecepatan angin 8,3 m/s adalah 16,6 rad/s pada panjang *blade* 1m , pada panjang *blade* 1,5m adalah 11,066 rad/s, dan pada panjang *blade* 2m adalah 8,3 rad/s.

#### 4.4 Simulasi Aliran Angin Pada Turbin

Perangkat lunak yang digunakan untuk proses simulasi turbin angin adalah perangkat lunak Ansys 2020 R1 dengan lisensi akademik. Hasil yang diperoleh dari proses simulasi adalah torsi turbin angin dan kecepatan angin pada sudu. Torsi dan kecepatan sudut turbin yang diperoleh selanjutnya *diinput* kedalam persamaan daya.

Parameter yang *diinput* pada simulasi ditunjukkan pada Tabel 2. Tahap yang keempat adalah pengambilan data hasil simulasi, tahap keempat dijelaskan pada subbab 4.5.

Tabel 2. Parameter yang digunakan dalam Simulasi

Parameter	Uraian
-----------	--------

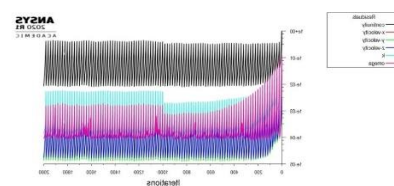
Kecepatan Udara	8,3 m/s
Kecepatan Sudut	16,6 rad/s ; 11,066 rad/s ; 8.3 rad/s
Model Turbulensi	SST K-Omega
Tekanan Lingkungan	0 (gauge)
Material Fluida	Udara
Material Turbin	Alumunium (default)

#### 4.5 Data Hasil Simulasi

Data hasil simulasi yang dikeluarkan oleh Ansys ada tiga. Data simulasi tersebut adalah torsi turbin terhadap waktu, *pathlines* aliran fluida yang melewati turbin, grafik *residuals*.

##### a. Grafik Residual

Grafik *residuals* dipantau pada proses komputasi hingga selesai. Gambar 5. menunjukkan bahwa proses komputasi berakhir dengan kondisi konvergen. Jika diperhatikan grafik *residuals* yang terjadi adalah bergelombang. Hal tersebut adalah fenomena yang wajar, karena simulasi yang diatur akan mengulang komputasi dari awal, setiap selesai menghitung 20 iterasi.

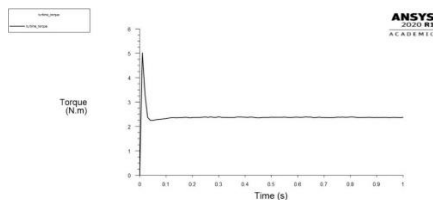




Gambar 5. Grafik *Residuals* pada Turbin dengan Jumlah *Sudu* 3 dan Panjang 1

b. Grafik Torsi

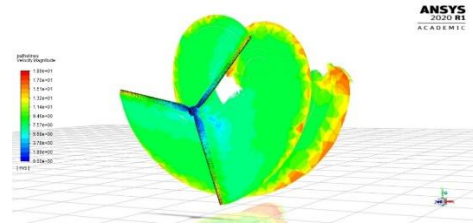
Berdasarkan data torsi hasil simulasi, grafik torsi yang ditunjukkan pada gambar 6 memiliki karakteristik yang sesuai dengan hasil pengujian yang dilakukan oleh M. Borg dan M. Collu (2015)



Gambar 6. Grafik Torsi terhadap Waktu Hasil Simulasi Turbin dengan Jumlah *Sudu* 3 dan Panjang 1 meter

c. *Pathlines* Aliran Fluida

*Pathlines* aliran fluida adalah data hasil simulasi yang menunjukkan karakteristik aliran fluida yang menabrak turbin. Pada simulasi ini, karakteristik fluida yang diambil adalah kecepatan aliran fluida. Data kecepatan aliran fluida pada *sudu* turbin diperlukan untuk perhitungan kecepatan sudut optimum turbin.



Gambar 7. *Pathlines* Turbin Angin dengan Jumlah *Sudu* 3 dan Panjang 1 meter

Perhitungan kecepatan sudut optimum turbin dapat dihitung menggunakan persamaan 2.7. dengan

Jumlah <i>Sudu</i>	Vmax (m/s)	$\omega_{opt}$	Vmax (m/s)	$\omega_{opt}$	Vmax (m/s)	$\omega_{opt}$
	Panjang 1m		Panjang 1,5m		Panjang 2m	
2	20,3	193,2	19,60	123,1	18,9	89,1
3	18,9	118,8	20,50	85,8	19,9	62,5
4	19,5	91,9	20,00	62,8	18,7	44,1
6	20,3	64,4	20,00	41,8	20,5	32,2

menggunakan nilai – nilai yang telah diketahui, berikut perhitungan dan data hasil perhitungan kecepatan sudut optimum.

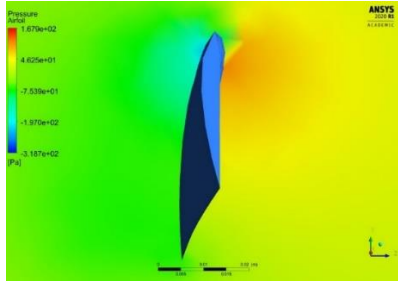
$$\omega_{opt} = \frac{2\pi u}{nL}$$

$$= \frac{2\pi \cdot 18,9 \text{ m/s}}{3 \cdot 0,333\text{m}} = 118,871 \text{ Rad/s}$$

Tabel 3. Kecepatan Sudut Optimum

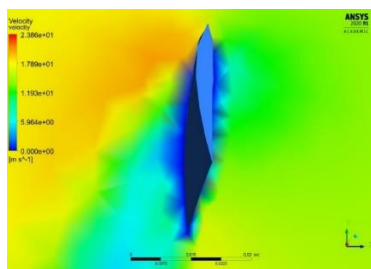
Tabel 3. menunjukkan hasil perhitungan kecepatan sudut optimum yang terjadi pada kecepatan angin maksimum ketika menabrak *sudu*. Data kecepatan angin maksimum diperoleh dari data *pathlines* aliran fluida, seperti yang ditunjukkan pada gambar 7. Berdasarkan, gambar *pathlines* aliran

yang ditunjukkan gambar 7, variasi kecepatan udara setelah melewati turbin, memenuhi prinsip Bernoulli pada penampang *airfoil*.



Gambar 8. Profil Tekanan pada Sudu Turbin

Pada gambar 8, dapat dilihat bahwa tekanan di sisi datangnya udara (kanan gambar) lebih tinggi dari tekanan yang ada di belakang *airfoil* (kiri gambar). Sedangkan pada gambar 9, kecepatan udara di sisi datangnya udara (kanan gambar) lebih rendah dari kecepatan udara yang ada di belakang *airfoil* (kiri gambar). Gambar 8 dan 9 sesuai dengan prinsip Bernoulli.



Gambar 9. Profil Kecepatan pada Sudu Turbin

Rangkuman, data torsi turbin angin yang dihasilkan masing-masing variasi, dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Simulasi Torsi

Jumlah Sudu	Torsi Turbin (N.m)		
	Panjang 1 m	Panjang 1.5 m	Panjang 2 m
2	1,500	4,500	12,500
3	2,300	8,000	18,000
4	3,200	11,000	25,000
6	5,000	17,500	40,000

selanjutnya dimasukkan kedalam persamaan daya sebagai data yang akan dianalisa pada penelitian ini. Berikut persamaan daya.

$$\begin{aligned}
 P_T &= T \cdot \omega_{opt} \\
 &= 4,5 \text{ Nm} \times 118,871 \text{ rad/s} \\
 &= 273,403 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Kemudian dilanjutkan dengan metode yang sama pada variabel – variabel panjang dan jumlah sudu yang berbeda. Hasil dari simulasi dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Daya Turbin Angin

Jumlah Sudu	Daya Turbin (Watt)		
	Panjang 1 m	Panjang 1.5 m	Panjang 2 m
2	289,883	554,180	1114,413
3	273,403	686,968	1126,458
4	294,346	691,141	1102,625
6	322,335	733,023	1289,320

#### 4.6 Validasi Data Hasil Simulasi

Validasi data hasil simulasi dilakukan untuk memastikan bahwa data hasil simulasi sudah sesuai dengan perhitungan teoritis. Data yang dibandingkan, adalah data daya turbin

hasil simulasi dan daya turbin teoritis. Daya turbin teoritis dapat dihitung menggunakan persamaan 2.5 yang dimodifikasi. Berikut perhitungan daya turbin teoritis yang dimaksud.

$$C_p = \frac{P_T}{P_w} = \frac{P_T}{\frac{1}{2} \rho A u^3}$$

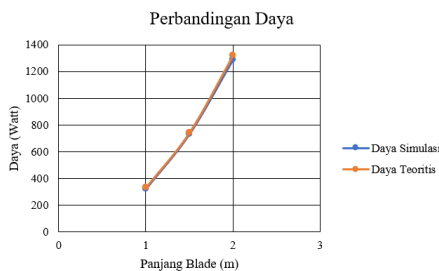
$$P_{T1} = \frac{1}{2} \rho A u^3 C_p$$

$$= \frac{1}{2} (1,225 \text{ kg/m}^3) (3,14 \text{ m}^2) (8,3 \text{ m/s}) (0,3) = 330 \text{ Watt}$$

Persamaan yang sama digunakan untuk perhitungan daya teoretis pada variasi turbin yang lain. Perbandingan daya hasil simulasi dan hasil dari persamaan dapat dilihat pada tabel 6. Adapun perbandingan daya dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar 10.

Tabel 6. Hasil Perbandingan Daya Simulasi dan Daya Teoretis

Panjang Sudu (m)	Daya simulasi, jumlah sudu 6 (Watt)	Daya teoretis (Watt)	Selisih (%)
1	322,335	330	2,33
1.5	733,023	742	1,21
2	1289,320	1320	2,32

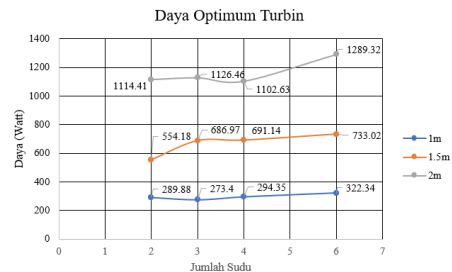


Gambar 10 Grafik Validasi Daya Simulasi terhadap Daya Teoretis

Berdasarkan grafik validasi, ditunjukkan bahwa daya yang diperoleh dari hasil simulasi tidak jauh berbeda dengan daya teoritis. Hal ini membuktikan bahwa, data hasil simulasi yang diperoleh, dapat dipercaya.

#### 4.7 Analisis Dan Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan daya turbin pada masing-masing variasi, dapat dilihat pada gambar 4.9 cenderung semakin panjang turbin angin, daya yang dihasilkan cenderung semakin besar. Hal ini, berlaku bagi turbin angin sumbu horisontal dengan profil penampang *airfoil*. Daya terbesar terjadi pada turbin angin dengan jumlah *sudu* 6 dan panjang 2 meter, yaitu sebesar 1289,32 watt.



Gambar 11. Grafik Daya Terhadap Jumlah Sudu

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan penelitian ini adalah bahwa hasil daya pada simulasi dipengaruhi oleh variasi panjang dan jumlah dari turbin angin sumbu horisontal. Pada penelitian ini,

penambahan variasi jumlah dan panjang cenderung akan memperbesar daya yang dihasilkan turbin angin. Daya tertinggi pada turbin angin tipe poros horisontal berpenampang airfoil NACA 4412 menghasilkan daya sebesar 1290 Watt pada variasi jumlah sudu 6 dengan panjang 2 meter.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan simulasi kekuatan material, agar dapat diketahui ukuran atau dimensi yang sesuai yang mana turbin tidak akan mengalami kerusakan
2. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan variasi parameter yang lain, seperti variasi kecepatan angin dan *tip speed ratio*

## DAFTAR PUSTAKA

Prayogo, A, Tangkuman, S, Rondonuwu, I, 2019. Desain Model Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Portabel  
Tangkuman, S, 2019, Mekanika Kekuatan Material. Manado : Unsrat Press.  
Kiling, F, Tangkuman, S, Luntungan, H,

2016. Analisis Defleksi Akibat Beban Angin pada Bejana Tekan Vertikal di Kelurahan Sagerat Kota Bitung, Jurnal online poros Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi, vol.5 no.2.

Malendes, N, Tangkuman, S, Arungpadang, T, 2016. Analisis Kekuatan Poros Landing Gear Pesawat N-219, Jurnal online poros Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi, vol.5 no.2.

Mamoto, R, Tangkuman, S, Rembet, M, 2017. Metode Prediksi Berbasis Grey Model untuk Prognosis Perambatan Retak, Jurnal online poros Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi, vol.6 no.2.

Widodo, A, Tangkuman, S, 2018. Simulasi dan Permodelan Turbin Angin Tipe Darrieus dengan Konfigurasi Rotor Tipe H untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Santoso, A, Tangkuman, S, Rembet, M, 2018. Perancangan Mesin Stirling Beta Tenaga Matahari Sebagai Penggerak Pompa Air

Poeng, R, 1996, Dinamika Teknik. Manado : Universitas Sam Ratulangi.