

**Madani: Jurnal Ilmiah Multidisiplin**  
**Volume 2, Nomor 7, 2024, Halaman 136-148**  
**Licensed by CC BY-SA 4.0**  
**E-ISSN: [2986-6340](https://doi.org/10.5281/zenodo.12518347)**  
**DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.12518347>**

## **Analisa Kemiringan Sudut Tiga Bilah dan Empat Bilah Pada Turbin Angin Hawt**

**Michael A G Hutabarat<sup>1</sup>, Junaidi, MM<sup>2</sup>, Yulfitra<sup>3</sup>**

<sup>1234</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Komputer, Universitas Harapan

Email : [michaelhutabarat2016@gmail.com](mailto:michaelhutabarat2016@gmail.com)

### **Abstrak**

Pertumbuhan penduduk merupakan salah satu factor penyebab meningkatnya kebutuhan akan energi. Meningkatnya kebutuhan energi ini diiringi dengan menurunnya jumlah sumber energi yang ada seperti batu bara, gas alam dan minyak bumi. Oleh karena itu diperlukan solusi untuk mengatasi keterbatasan ini yaitu dengan mencari alternatif sumber energi yang terbarukan (renewable) dan ramah lingkungan, sehingga bisa dimanfaatkan secara luas dan terus-menerus (continue). Salah satu sumber energi yang terbarukan dan ramah lingkungan adalah tenaga angin. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa kemiringan sudut turbin angin sumbu horizontal 3 bilah dan 4 bilah. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui daya keluaran, Koefisien daya, dan tip speed ratio dari turbin angin tersebut. Penelitian ini menggunakan bahan plat aluminium dengan Panjang bilah 120 cm dan lebar 12 cm dengan daya generator 500 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya keluaran yang didapat adalah 8,65 A, Koefisien daya turbin angin adalah 59% dan tip speed ratio adalah 7,45 rad/s. Pada kondisi tersebut menunjukkan bahwa kecepatan angin dan diameter blade sangat mempengaruhi daya keluaran dari hasil perancangan.

**Kata Kunci :** *Turbin Angin, Bilah, Kecepatan Angin, Daya, tip speed ratio*

### **Abstract**

Population growth is one of the factors causing the increasing demand for energy. This increase in energy demand is accompanied by a decrease in the number of existing energy sources such as coal, natural gas and oil. Therefore a solution is needed to overcome this limitation, namely by looking for alternative energy sources that are renewable and environmentally friendly, so that they can be used widely and continuously. One source of renewable and environmentally friendly energy is wind power. The purpose of this study was to analyze the slope angle of the 3-blade and 4-blade horizontal axis wind turbines. In addition, this study also aims to determine the output power, power coefficient, and tip speed ratio of the wind turbine. This study used aluminum plate material with a blade length of 120 cm and a width of 12 cm with a generator power of 500 rpm. The results showed that the output power obtained was 8.65 A, the wind turbine power coefficient was 59% and the tip speed ratio was 7.45 rad/s. In these conditions shows that the wind speed and blade diameter greatly affect the output power of the design results.

**Keywords :** *Wind Turbine, Blades, Wind Speed, Power, tip speed ratio*

---

### **Article Info**

Received date: 10 June 2024

Revised date: 18 June 2024

Accepted date: 23 June 2024

## **PENDAHULUAN**

Di Indonesia, kecepatan angin berkisar antara 2m/s hingga 6m/s. Dengan karakteristik kecepatan seperti itu, Indonesia dinilai cocok untuk menggunakan pembangkit listrik tenaga angin skala kecil (10kW) dan menengah (10-100kW); untuk penggunaan energi seperti misalnya, lampu, pompa air, alat-alat elektronik, dan lain-lain. Pusat tenaga angin sebagian besar masih berada di Nusa Tenggara Timur yang memiliki kecepatan rata-rata angin hingga lebih dari 5m/s. Ditunjukkan bahwa potensi energi angin di Indonesia mencapai 9,286 MW; di mana penggunaan hingga tahun 2004 masih kurang dari 0.5 MW berdasarkan data dari *Indonesia Energy Outlook and Statistics 2004*.

Turbin angin sederhana dengan diameter 0.6 m, dapat menghasilkan daya listrik sebesar 80 W. Selain itu, jenis turbin ini dapat menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dibanding dengan jenis turbin angin sumbu vertikal, karena sudu atau blade pada turbin angin sumbu horizontal selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin dan menerima daya sepanjang putaran[2]

Energi angin yang terdapat di Universitas Harapan Medan, Sumatera Utara dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif untuk menghasilkan energi listrik. Melalui pemanfaatan energi angin tersebut pemakaian bahan bakar fosil (batu bara, gas dan minyak bumi) yang selama ini

berlebihan dapat dikurangi dan dapat menghemat biaya mengingat begitu mahalny harga bahan bakar tersebut. Biasanya turbin jenis ini memiliki sudu berbentuk airfoil seperti bentuk sayap pada pesawat. Pada turbin ini, putaran rotor terjadi karena adanya gaya angkat (*lift*) pada sudu yang ditimbulkan oleh aliran angin. Pada tipe Horizontal memanfaatkan efek gaya angkat sebagai gaya penggerak rotor. Oleh karena itu kecepatan linier sudu dapat lebih besar daripada kecepatan angin. Turbin ini cocok digunakan pada tipe angin sedang dan tinggi, dan banyak digunakan sebagai pembangkit listrik skala besar.

Fokus pembahasan pada penulisan ini adalah untuk menganalisa kemiringan sudut  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ , dan  $30^\circ$  yang terbaik pada turbin angin Hawt tiga bilah dan empat bilah agar dapat menghasilkan energi yang maksimal dan energi angin yang ditangkap harus dapat dikonversikan secara maksimal untuk dapat menghasilkan energi listrik. Oleh sebab itu pengaruh variasi kemiringan sudut  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ , dan  $30^\circ$  terhadap performance putaran turbin, mempengaruhi kecepatan angin yang bisa dimanfaatkan untuk dapat memutar turbin, dan bagaimana proses pemanfaatan energi angin tersebut menjadi energi listrik.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Kincir Angin dan Turbin Angin

Kincir angin pembangkit listrik umumnya disebut sebagai Turbin angin (*wind turbine*) atau generator angin (*wind generator*). Mesin angin untuk memompa air pada umumnya disebut sebagai kincir angin (*windmill*). Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin (*wind turbine*) pertama kali digunakan oleh bangsa Persia dalam bentuk kincir angin pada abad ke 5.

### Klasifikasi Turbin Angin

Berdasarkan sumbu putar rotor, turbin angin dapat digolongkan menjadi dua klasifikasi utama yaitu *vertical axis wind turbine (VAWT)* dan *horizontal axis wind turbine (HAWT)*. Sedangkan apabila dilihat dari fungsi aerodinamisnya, maka rotor turbin dibagi menjadi dua tipe. Pertama adalah tipe drag dimana memanfaatkan gaya hambatan sebagai penggerak rotor. Kedua adalah tipe lift yang memanfaatkan gaya angkat sebagai gaya penggerak rotor. Gaya ini terjadi akibat angin yang melewati profil rotor.

### Turbin Angin Sumbu Horizontal (HAWT)

Turbin Angin Sumbu Horizontal memiliki beberapa jenis turbin angin, diantaranya adalah sebagai berikut :

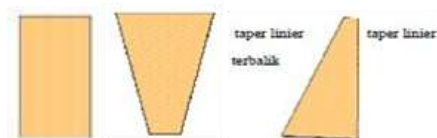
- a) *American Windmill*
- b) *Cretan Sail*
- c) *Dutch Four Arm*

### Turbin Angin Sumbu Vertikal (VAWT)

Turbin angin sumbu vertical adalah turbin angin yang memiliki poros atau sumbu *rotor* utama tegak lurus dengan permukaan tanah. Kelebihan utama dari turbin angin ini adalah tidak harus diarahkan ke arah datangnya angin untuk menghasilkan energi listrik. Berikut ini adalah turbin angin sumbu vertikal:

- a) Turbin Angin Darrieus
- b) Turbin Angin Savonius

### Desain Sudu (Blade)

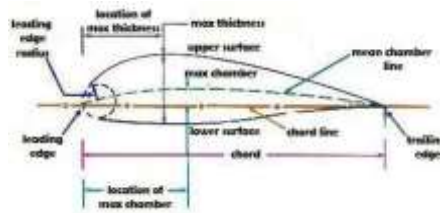


**Gambar 1.** Jenis-jenis model sudu

Sudu-sudu (*blade*) merupakan bagian dari sebuah kincir angin berupa pelat yang rata. Model sudu yang paling baik adalah yang mendekati bentuk streamline, dalam pengujian digunakan bentuk taper linear terbalik sebagai bentuk yang mendekati kondisi streamline.

### Airfoil

*Airfoil* adalah bentuk dari suatu sayap pesawat yang dapat menghasilkan gaya angkat (*lift*) atau efek aerodinamis ketika melewati suatu aliran udara.



**Gambar 2..** Bagian-Bagian Yang Terdapat Pada Sudu *Airfoil*

(sumber:<http://www.researchgate.net/figure/Fig1-Airfoil/>)

- a. *Leading edge* adalah ujung depan dari *airfoil* atau sayap yang secara umum berbentuk cembung.
- b. *Camber* adalah besarnya jarak antara garis garis rata-rata *airfoil* atas dan bawah terhadap garis tengah (*chord line*).
- c. *Thickness* adalah ketebalan maksimum dari bentuk *airfoil* dan menunjukkan presentasi dari *chord*.
- d. *Mean camber line* merupakan garis pertengahan yang membagi antara permukaan atas *airfoil* dan permukaan bawah pada *airfoil*.
- e. *Chord* adalah perpanjangan dari *chord line* mulai dari *leading edge* hingga *trailing edge*. Dengan kata lain, *chord* adalah karakteristik dimensi *longitudinal* dari suatu *airfoil*.
- f. *Chord line* adalah garis lurus yang menghubungkan *leading edge* dan *trailing edge*.
- g. *Trailing edge* adalah bentuk dari bagian paling ujung *airfoil* atau sayap yang secara umum berbentuk runcing.

**Daya Angin**

Energi yang terdapat pada angin merupakan energi kinetik, Energi kinetik yang terkandung dalam angin inilah yang ditangkap oleh turbin angin untuk memutar rotor. Dengan menganggap suatu penampang melintang A, dimana udara dengan kecepatan v mengalami pemindahan volume untuk setiap satuan waktu yang disebut dengan aliran volume V sebagai persamaan :

= .

Dimana :

- V : Laju volume (m<sup>3</sup>/s)
- v : Kecepatan angin (m/s)
- A :Luas penampang (m<sup>2</sup>)

Pada angin berbanding lurus dengan massa jenis udara (ρ) dan berbanding lurus dengan kuadrat dari kecepatannya dengan persamaan :

$$= = .....(2.2)$$

Dimana :

- M : Massa udara (kg)
- ρ : Kerapatan udara (kg/m<sup>3</sup>)
- A : Luas penampang kincir (m<sup>2</sup>)
- : Kecepatan angin (m/s)

Dengan demikian maka energi yang dapat dihasilkan per satuan waktu adalah :

$$Pw = \frac{1}{2} \rho Av^3 ..... (2.3)$$

Dimana :

- Pw : Daya angin yang bergerak dengan satuan (watt)

**Daya Turbin Angin**

Daya turbin angin adalah daya yang dibangkitkan oleh rotor turbin angin akibat mendapatkan daya dari hembusan angin. Daya turbin angin tidak sama dengan daya angin dikarenakan daya turbin angin terpengaruh oleh koefisien daya. Koefisien daya adalah presentase daya yang terdapat pada angin yang dirubah ke dalam bentuk energi mekanik

Secara teori, kemungkinan koefisien daya rotor maksimum diberikan oleh Batas Betz, CP = 16/27 = 0,593[8]. Jadi hasil dari kekuatan turbin angin dapat disimpulkan sebagai :

$$Pr = Cp \frac{1}{2} \rho Av^3 .....(2.4)$$

Dimana :

- Pr : Daya rotor (watt)

CP : Daya koefisien pisau

Dengan  $\rho$  adalah massa jenis udara yaitu  $1,225 \text{ kg/m}^3$ . Ungkapan ini memberikan daya yang tersedia dalam aliran bergerak dari udara, tetapi kekuatan yang dapat diekstraksi dari aliran bergerak ini adalah apa yang dibutuhkan. Dengan demikian kita dapat mempertimbangkan rasio, yang dikenal sebagai koefisien daya, antara kekuatan angin, dan kekuatan rotor :

$$C_p = \frac{\text{daya rotor}}{\text{daya angin}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Konstituen dari persamaan daya yang terkait dengan baling- baling adalah area menyapu, atau diameter rotor. Dengan demikian panjang setiap blade individu merupakan faktor desain kritis. Gaya yang diberikan angin terhadap sebuah penampang dengan luas A dan jari-jari (R), dihitung dengan persamaan berikut :

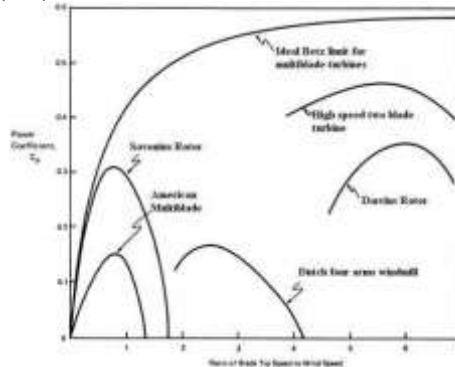
$$F_{\text{angin}} = \frac{1}{2} \rho v^2 A \dots \dots \dots (2.6)$$

Sehingga bisa dihitung torsi rotor (Trotor) yaitu :

$$T_{\text{rotor}} = CT \frac{1}{2} \rho v^2 A. R \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana CT adalah koefisien torsi yang besarnya ditentukan dari hubungan antara torsi dan daya sehingga diperoleh :

$$C_T = \frac{C_p}{\lambda} \dots \dots \dots (2.8)$$



**Gambar 2.11.** *Bets Limit* pada koefisien daya dan *tip speed ratio* (sumber:<http://mragheb.com>)

**Luas Area Paparan Angin (swept area)**

Luas area paparan angin merupakan dimana area pergerakan turbin angin yang disebabkan oleh kecepatan udara yang menghasilkan putaran pada rotor.

$$As = \frac{1}{4} \pi D^2 \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

- As : Luas area paparan angin
- D : Luas bidang turbin

**Daya Listrik**

Daya listrik adalah daya keluaran yang dihasilkan dari putaran generator.

Daya listrik dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_L = V \times I \dots \dots \dots (2.10)$$

Dengan :

- $P_L$  : daya listrik yang dihasilkan oleh generator (watt)
- $V$  : tegangan yang dihasilkan oleh generator (volt)
- $I$  : arus yang mengalir pada beban (ampere)

**Efisiensi Sistem**

Efisiensi system adalah perbandingan antara daya listrik yang dihasilkan generator dengan gaya kinetic yang dihasilkan oleh angin. Nilai efisiensi system dapat ditentukan pada persamaan berikut :

$$\eta = P_l/P_a \times 100\% \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

$P_l$  = Daya listrik yang dihasilkan generator (watt)

$P_a$  = Daya angin (watt)

**Koefisien Daya**

Koefisien daya adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan turbin angin dengan daya angin melalui penampang rotor

$$C_p = 827 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 / 12 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

$C_p$  = Koefisien Daya (Power Coefficient)

$v$  = Kecepatan Angin (m/s)

$A$  = Luas penampang sapuan sudu ( $\pi \cdot r^2 = m^2$ )

$\rho$  = Massa jenis udara ( 1,2 kg/ m<sup>3</sup>)

**Tip Speed Ratio**

*Tip Speed Ratio* adalah perbandingan antara kecepatan di ujung sudu turbin angin dengan kecepatan anginya sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$v_t = \omega \cdot r \dots\dots\dots(2.13)$$

dengan :

$V_t$  = kecepatan ujung sudu

$\omega$  = kecepatan sudut (rad/detik)

$r$  = jari-jari turbin angin (m)

Dengan demikian *tip speed ratio* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\lambda = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot 60 \cdot v \dots\dots\dots(2.14)$$

dapat disederhanakan sebagai berikut :

$$\lambda = \pi \cdot n \cdot 30 \cdot v \dots\dots\dots(2.15)$$

dengan:

$\lambda$  = *tip speed ratio*

$r$  = jari-jari turbin (m)

$n$  = kecepatan putar poros turbin angin (rpm)

$v$  = kecepatan angin (m/s)

**Kecepatan Poros**

Menggunakan persamaan Shaft Speed :

$$\zeta \zeta = 60 \lambda v \pi D \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

$\lambda_r$  = Tip Speed Ratio

$v$  = Kecepatan angin

$D$  = Diameter sudu

$\Pi$  = 3,14

**Torsi**

Torsi bisa didefinisikan sebagai ukuran keefektifan gaya yang bekerja dalam menghasilkan putaran mengelilingi sumbu. Selain itu, torsi dapat diartikan sebagai perkalian antara gaya yang bekerja pada sudu dengan jarak yang tegak lurus terhadap gaya dari sumbu putar turbin. Secara teori, Torsi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$T = V \cdot 12 \cdot r^3 \lambda \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

$\lambda$  = Tip Speed Ratio

$v$  = kecepatan angin

$r$  = jari-jari rotor

**Jumlah Sudu (n)**

Untuk turbin angin giromill, *torque ripple* dapat dikurangi jika jumlah sudunya yang digunakan tiga atau lebih. Dilain sisi, variasi pembebanan yang merata pada turbin angin diperoleh apabila menggunakan sudu yang berjumlah tiga atau lebih. Untuk jenis *micro vertical axis wind*

turbine jumlah sudu optimal yang bias digunakan pada umumnya yaitu tiga sudu .

### **Solidity**

*Solidity* adalah perbandingan antara luas sudu dengan luas sapuan rotor. *Solidity* dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\text{Solidity} = \frac{\text{Blade area}}{\text{Rotor area}} = n \cdot c \cdot D \dots \dots \dots (2.18)$$

dengan  $D$  adalah diameter turbin angin,  $n$  adalah jumlah sudu dan  $c$  adalah panjang *chord* sudu turbin angin.

Nilai *solidity* berpengaruh pada material yang digunakan untuk membuat turbin angin dikarenakan berubahnya luasan turbin angin, kecepatan putar turbin angin semakin meningkat begitu juga sebaliknya, kemudian torsi yang dihasilkan oleh turbin angin akan semakin tinggi apabila nilai *solidity* juga meningkat.[9]

## **METODE PENELITIAN**

### **Tempat Dan Waktu Penelitian**

Dalam melakukan Pengujian Turbin Angin Horizontal ini dilakukan di Universitas Harapan Medan, Sumatra Utara Dalam melakukan penyelesaian pengujian Turbin Angin Horizontal ini dibutuhkan waktu sekitar 3-6 bulan.

### **Gambar Alat Penelitian**

Data Spesifikasi Turbin :

1. Tinggi Turbin : 8 m
2. Diameter Bilah : 1,14 m
3. Jumlah Bilah : 3 dan 4 bilah

### **Peralatan Pendukung Penelitian**

#### **Generator**

- Rpm : 500 rpm
- Voltase : 12 v
- Torsi : 0,794 N/m
- Tipe : AC/DC

### **Teknik Pengumpulan Data**

Penelitian ini dilakukan di Universitas Harapan Medan, Sumatra Utara. Proses awal yaitu dengan survey lokasi dan dilanjutkan penelitian untuk mengoptimalkan pembangkit Listrik Tenaga Angin yang akan dilakukan mulai dari Analisa kemiringan sudu.

Adapun tahapan pengambilan data yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut :

- a. Persiapan  
Sebelum melakukan penelitian terlebih dahulu melaksanakan persiapan yang dilakukan adalah menyediakan bahan yang sudah dirancang dan perlengkapannya serta alat ukur penelitian yang dibutuhkan.
- b. Memeriksa bahan apa yang akan digunakan dalam pembuatan blade.
- c. Memeriksa generator pada putaran poros.  
Memastikan generator listrik pada transmisi berfungsi dengan baik, agar putaran gear pada transmisi berputar dengan baik.
- d. Memeriksa transmisi pada transmisi turbin angin.  
Memeriksa transmisi pada poros berkerja dengan baik, agar putaran poros tetap stabil.
- e. Memeriksa blade pada poros turbin angin.  
Memastikan blade pada poros telah terpasang dengan baik, agar blade tidak terlepas pada poros saat poros berputar.
- f. Memastikan arah dan kecepatan angin pada tempat pengujian.
- g. Uji coba alat yang telah dipasang.  
Pemeriksaan alat-alat sudah terpasang dengan baik, sehingga sewaktu pengujian dan pengambilan data tidak terjadi kerusakan.

### **Analisa Data**

Analisa data dalam hal ini adalah dengan menggunakan teknik analisis kuantitatif deskriptif, yaitu teknik yang digunakan untuk mendeskripsikan atau menyampaikan hasil penelitian dalam bentuk grafik. Data yang diambil penelitian ini adalah Analisa kemiringan sudut  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ , dan  $30^\circ$ .



**HASIL DAN PEMBAHASAN****Perhitungan Daya Angin****Daya Pada Beban**

Sesuai dengan data pengukuran percobaan dilakukan perhitungan untuk nilai tahanan beban (Rlampu), Tegangan phasa ke phasa ( $V_{p-p}$ ), Arus ( $I$ ), Daya ( $\rho$ ) dan Torsi ( $t$ ). Beban yang digunakan adalah :

$$R_{\text{lampu}} = R_{\text{lampu}2} P_{\text{lampu}} = 12 \text{V} / 15 \text{W} = 0,8 \Omega$$

**Menghitung Nilai Tegangan Phasa ke Netral (Sumbu)**

$$V_{p-n} = V_{p-p} / \sqrt{3} = 12 / \sqrt{3} = 6,92 \text{ V}$$

- Menghitung nilai arus yang mengalir ke beban lampu

$$I = V_{p-n} / R = 6,92 / 0,8 = 8,65 \text{ A}$$

- Daya yang diasumsi :

$$\rho = V_{p-n} \cdot I = 6,92 \text{ V} \times 8,65 \text{ A} = 59,8 \text{ watt}$$

**Kecepatan Sudut dapat dihitung berdasarkan banyaknya putaran permenit :**

$$\omega = 2\pi n / 60 = 2 \times 3,14 \times 500 / 60 = 52,3 \text{ rad/s}$$

Dimana :

$$n : \text{Rpm dari generator} = 500 \text{ rpm}$$

- Menghitung luas sapuan rotor ( $m^2$ )

$$C_p = \text{Koefisien Daya betz limit} = 0,59$$

$$A = 2 \cdot C_p \cdot \rho \cdot v^3 = 2 \times 0,59 \times 1,225 \times 2,03^3 = 4,1 \text{ m}^2$$

Sehingga akan didapat :

$$r^2 = 4,1 / 3,14 = 1,3$$

$$r = 1,14 \text{ m}$$

$$D = 2 \cdot r = 2 \times 1,14 = 2,28 \text{ m}$$

- Menghitung *Tip Speed Ratio (TSR)* pada rotor ( $\lambda_r$ ) adalah :

$$\lambda_r = \omega \cdot r / v = 52,3 \times 1,14 / 2,0 = 29,8 \text{ rad/s}$$

**Daya Kinetik Angin**

Daya angin pada kecepatan 2,0 m/s kemudian dapat dihitung seperti dibawah ini :

$$P_{\text{angin}} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 = \frac{1}{2} \times 1,225 \times 4,1 \times 2,03^3 = 19,68 \text{ Watt}$$

**Kecepatan Poros ( $\zeta$ )**

Menggunakan persamaan Shaft Speed :

$$\zeta = 60 \lambda_r \pi D = 60 \times 29,8 \times 2,03 / 3,14 \times 2,28 = 66,5 \text{ Rpm}$$

**Torsi ( T )**

Untuk menentukan torsi digunakan rumus :

$$T = P / \omega = 19,68 / 52,3 = 0,376 \text{ NM}$$

**Kecepatan Putaran Rotor ( $\Omega$ )**

$$\Omega = \lambda_r / r \cdot v$$

Maka dari rumus diatas didapat hasil yaitu :

$$\Omega = (\lambda_r / r) \cdot v = (29,8 / 1,14) \times 2,0 = 52,3 \text{ rad/s}$$

**Koefisien Daya Turbin Angin**

$$C_p = 827 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 = 0,59 = 59\%$$

Dimana :  $C_p$  = Power Coefisien = 0,59 (Betz Number)

- Daya Output Generator

$$P_{\text{out}} = V \times I = 12 \times 0,8 = 9,6 \text{ watt}$$

- Efisiensi Sistem ( $\eta_{\text{sistem}}$ )

$$\eta_{\text{sistem}} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{angin}}} \times 100\% = \frac{9,6}{19,68} \times 100\% = 48,7\%$$

- Daya Poros (PS)

$$P_s = 2 \times \pi \times \eta_g \times T \times 60 = 2 \times 3,14 \times 500 \times 0,376 = 1183,2 \text{ watt}$$

- Efisiensi Generator ( $\eta_g$ )

$$\eta_g = \frac{P_{\text{out}}}{P_s} \times 100\% = \frac{9,6}{1183,2} \times 100\% = 0,81\%$$

- Efisiensi Turbin ( $\eta_{\text{turbin}}$ )

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{P_s}{P_{\text{angin}}} \times 100\% = \frac{1183,2}{19,68} \times 100\% = 59,9\%$$

Maka koefisien torsi pada kecepatan angin 2,0 m/s dan jumlah sudu 4 yaitu :

$$C_q = C_p / \lambda = 0,59 / 29,8 = 0,0198$$

**Data Hasil Pengujian**

Pengujian unjuk kerja turbin angin Hawt 3 bilah dan 4 bilah berbahan plat dilakukan dengan tiga variasi kemiringan sudu, yaitu kemiringan sudu 30°, kemiringan sudu 20°, dan kemiringan sudu 15°. Data yang diperoleh meliputi kecepatan angin dan tegangan generator (volt).

Langkah-langkah perhitungan dapat dilihat pada sampel data yang diambil dari table dan akan dirinci sebagai berikut :

**Tabel 1 Hasil Pengujian Bilah 3 Kemiringan 30°**

No	Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Daya Keluaran (volt)
1	09.00	1,3 m/s	0,7 v
2	09.30	1,6 m/s	1,0 v
3	10.00	1,9 m/s	1,2 v
4	10.30	1,8 m/s	0,9 v
5	11.00	1,7 m/s	0,8 v
6	11.30	2,0 m/s	1,2 v
7	12.00	2,1 m/s	1,1 v
8	12.30	1,6 m/s	0,9 v
9	13.00	1,8 m/s	1,2 v
10	13.30	2,0 m/s	1,5 v
11	14.00	2,1 m/s	1,6 v
12	14.30	1,9 m/s	1,1 v
13	15.00	2,2 m/s	1,8 v
14	15.30	2,8 m/s	1,7 v
15	16.00	2,5 m/s	1,5 v
16	16.30	2,5 m/s	1,7 v
17	17.00	2,9 m/s	2,0 v
18	17.30	2,5 m/s	1,8 v

**Tabel 2 Hasil Pengujian Bilah 3 Kemiringan 20°**

No	Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Daya Keluaran (volt)
1	09.00	1,1 m/s	0,4 v
2	09.30	1,3 m/s	0,5 v
3	10.00	1,3 m/s	0,5 v
4	10.30	1,5 m/s	0,6 v
5	11.00	1,6 m/s	0,7 v
6	11.30	1,5 m/s	0,5 v
7	12.00	1,6 m/s	0,5 v
8	12.30	1,8 m/s	1,0 v
9	13.00	2,6 m/s	1,8 v
10	13.30	2,5 m/s	1,7 v
11	14.00	2,2 m/s	1,3 v
12	14.30	2,0 m/s	1,2 v
13	15.00	1,7 m/s	1,0 v
14	15.30	2,0 m/s	1,3 v
15	16.00	2,2 m/s	1,2 v
16	16.30	2,3 m/s	1,3 v
17	17.00	2,2 m/s	1,3 v
18	17.30	1,9 m/s	1,1 v



**Tabel 3 Hasil Pengujian Bilah 3 Kemiringan 15°**

No	Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Daya Keluaran (volt)
1	09.00	1,5 m/s	0,8 v
2	09.30	1,6 m/s	0,7 v
3	10.00	1,8 m/s	1,0 v
4	10.30	1,3 m/s	0,5 v
5	11.00	2,0 m/s	1,1 v
6	11.30	2,2 m/s	1,3 v
7	12.00	1,5 m/s	0,8 v
8	12.30	1,8 m/s	1,0 v
9	13.00	1,7 m/s	0,9 v
10	13.30	2,0 m/s	1,2 v
11	14.00	2,1 m/s	1,1 v
12	14.30	2,6 m/s	1,6 v
13	15.00	1,9 m/s	1,2 v
14	15.30	2,5 m/s	1,6 v
15	16.00	3,3 m/s	1,9 v
16	16.30	2,7 m/s	1,5 v
17	17.00	4,0 m/s	2,8 v
18	17.30	3,8 m/s	2,4 v

**Tabel 4. Hasil Pengujian Bilah 4 Kemiringan 30°**

No	Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Daya Keluaran (volt)
1	09.00	2,1 m/s	1,2 v
2	09.30	2,2 m/s	1,3 v
3	10.00	2,3 m/s	1,4 v
4	10.30	2,8 m/s	1,7 v
5	11.00	2,7 m/s	1,6 v
6	11.30	2,2 m/s	1,3 v
7	12.00	2,5 m/s	1,6 v
8	12.30	2,2 m/s	1,3 v
9	13.00	2,5 m/s	1,7 v
10	13.30	3,1 m/s	2,3 v
11	14.00	4,0 m/s	3,0 v
12	14.30	3,3 m/s	2,6 v
13	15.00	3,2 m/s	2,3 v
14	15.30	3,6 m/s	2,8 v
15	16.00	4,5 m/s	3,2 v
16	16.30	2,8 m/s	2,4 v
17	17.00	4,5 m/s	3,2 v
18	17.30	3,7 m/s	2,8 v

**Tabel 5 Hasil Pengujian Bilah 4 Kemiringan 20°**

No	Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Daya Keluaran (volt)
1	09.00	1,6 m/s	1,3 v
2	09.30	2,0 m/s	1,5 v
3	10.00	2,3 m/s	1,6 v

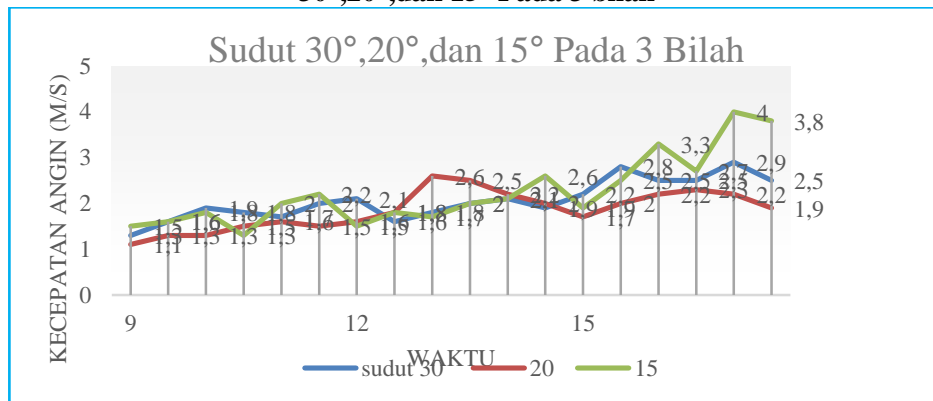
4	10.30	2,6 m/s	1,8 v
5	11.00	3,2 m/s	2,2 v
6	11.30	2,6 m/s	1,7 v
7	12.00	2,8 m/s	1,8 v
8	12.30	2,9 m/s	1,9 v
9	13.00	3,2 m/s	2,3 v
10	13.30	2,9 m/s	2,0 v
11	14.00	3,8 m/s	2,9 v
12	14.30	3,6 m/s	2,7 v
13	15.00	3,2 m/s	2,4 v
14	15.30	3,4 m/s	2,5 v
15	16.00	3,3 m/s	2,4 v
16	16.30	3,7 m/s	2,6 v
17	17.00	4,5 m/s	3,4 v
18	17.30	4,2 m/s	3,2 v

**Tabel 6 Hasil Pengujian Bilah 4 Kemiringan 15°**

No	Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Daya Keluaran (volt)
1	09.00	1,7 m/s	1,3 v
2	09.30	1,5 m/s	1,2 v
3	10.00	1,8 m/s	1,5 v
4	10.30	2,0 m/s	1,7 v
5	11.00	2,1 m/s	1,9 v
6	11.30	2,5 m/s	2,1 v
7	12.00	2,2 m/s	1,9 v
8	12.30	2,4 m/s	2,0 v
9	13.00	2,5 m/s	2,2 v
10	13.30	3,1 m/s	2,8 v
11	14.00	2,7 m/s	2,4 v
12	14.30	2,9 m/s	2,7 v
13	15.00	3,3 m/s	2,9 v
14	15.30	3,1 m/s	2,7 v
15	16.00	3,6 m/s	3,1 v
16	16.30	2,8 m/s	2,5 v
17	17.00	3,5 m/s	3,1 v
18	17.30	3,9 m/s	3,3 v

**Grafik Hasil Kecepatan Angin dan Daya Keluaran**

**Gambar 1. Grafik Hasil Pengujian Kecepatan Angin Sudut Kemiringan 30°,20°,dan 15° Pada 3 bilah**



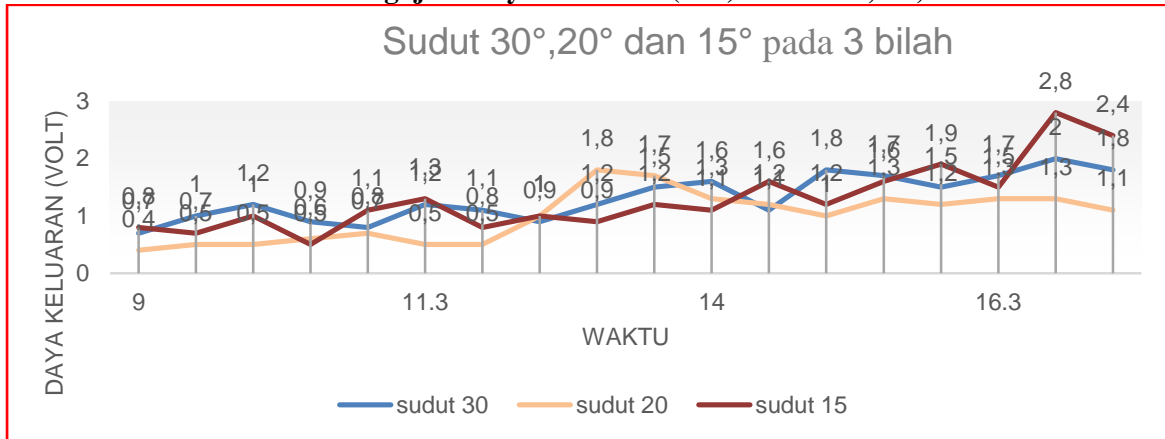
Berdasarkan Analisa grafik data pengujian kecepatan rata rata angin adalah 2,2 m/s dan kecepatan angin tertinggi yaitu 4,0 m/s pada sudu 15° (3 bilah) pada waktu 17.30 wib sedangkan kecepatan angin yang terendah terjadi pada sudut 20° dengan kecepatan angin yaitu 1,1 m/s pada waktu 09.00 wib. Maka dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin yang paling optimal dari sudut 30°,20°dan 15° terjadi pada sore hari.

**Gambar 2 Grafik Hasil Pengujian Kecepatan Angin Sudut Kemiringan 30°,20°,dan 15° Pada 4 bilah**



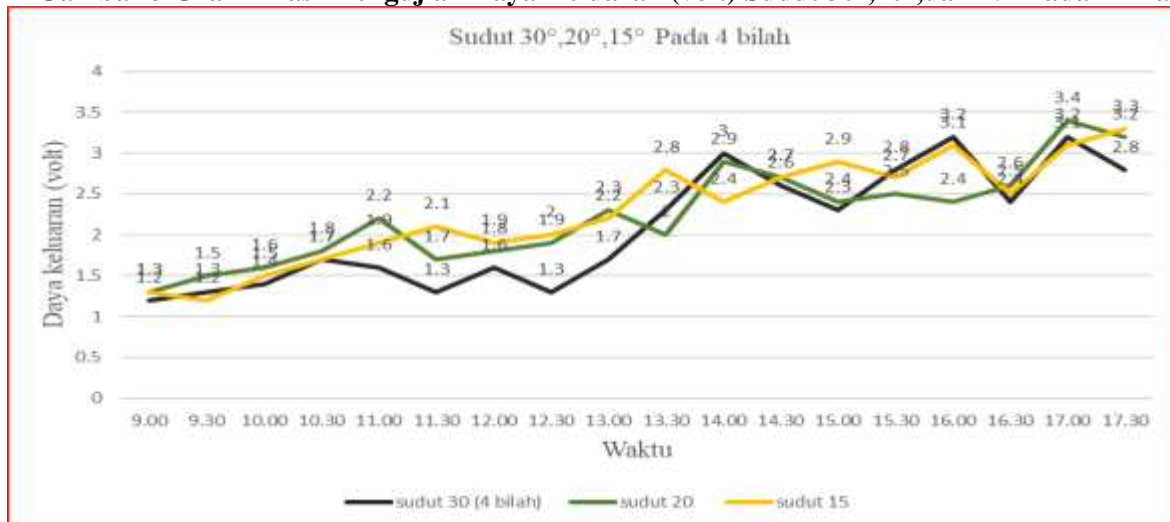
Dari analisa data grafik kecepatan angin pada sudut 30°,20°,15° pada sudu 4 bilah dapat diketahui bahwa kecepatan angin rata-rata yaitu 2,8 m/s dan kecepatan angin yang paling tertinggi 4,5m/s terjadi pada sudut 30° dan 20° pada waktu 17.00 wib. Dan kecepatan angin yang paling terendah terdapat pada 1,5m/s pada sudut 15° maka dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin yang paling optimal digunakan adalah dengan sudut 30° dan 20° pada sudu 4 bilah.

**Gambar 2 Grafik Hasil Pengujian Daya Keluaran (volt) Sudut 30°,20°,dan 15° Pada 3 Bilah**



Dari grafik data pengujian yang telah dilakukan bahwa daya keluaran (volt) rata-rata yaitu 1,2 v, daya keluaran tertinggi terdapat pada sudut 15° dengan daya 2,8v dan daya yang terendah adalah 0,4v pada sudut 20° .Maka daya yang paling optimal dihasilkan oleh turbin angin 3 bilah terjadi pada sudut 15°.

**Gambar 3 Grafik Hasil Pengujian Daya Keluaran (volt) Sudut 30°,20°,dan 15° Pada 4 Bilah**



Berdasarkan grafik hasil data pengujian yang telah dilakukan pada bilah 4 dengan sudut 30°,20°,15° daya keluaran rata-rata yaitu 2,3v, maka daya keluaran yang paling tertinggi terjadi pada sudut 20° dengan daya 3,4v dengan menggunakan 4 bilah dan daya keluaran terendah yaitu 1,2v. Maka dapat disimpulkan dari grafik bahwa sudut yang paling optimal digunakan pada turbin 4 bilah adalah sudut 20°.

**SIMPULAN**

Dari hasil penelitian Analisa kemiringan sudut 30°,20°dan 15° tiga bilah dan empat bilah didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil perhitungan terhadap putaran permenit dan daya turbin angin didapat hasil putaran permenit adalah 52,3 rad/s dan daya turbin yang dihasilkan adalah 19,68 watt
2. Berdasarkan hasil Analisa kemiringan sudut yang lebih baik adalah sudut 30° dengan 4 bilah dan didapat hasil koefisien torsi dengan kecepatan angin 2,0 m/s dengan sudut 30° dengan 4 bilah yaitu 0,079
3. Berdasarkan hasil perhitungan maka didapat hasil efisiensi terbaik yaitu hasil efisiensi system adalah 48,7 % , efisiensi generator didapat hasil 23,2 % dan efisiensi turbin didapat hasil 47,2 %

**SARAN**

Adapun saran dari penulis untuk mendukung terciptanya kualitas yang baik untuk penelitian terkait yang akan dilakukan selanjutnya yaitu:

1. Untuk melakukan pengujian turbin angin dibutuhkan kecepatan angin yang optimal sedangkan kecepatan angin ditempat pengujian tidak optimal sehingga dilakukan pengujian di tempat dataran tinggi maupun daerah atau tempat yang memungkinkan memiliki kecepatan angin yang lebih baik daripada tempat pengujian dilakukan.
2. Untuk pembuatan turbin angin propeller tipe HAWT selanjutnya sebaiknya dilakukan terlebih dahulu penelitian kecepatan angin yang lebih optimal sehingga dalam merancang baik sudu maupun ketinggian turbin dapat dirancang dengan baik sesuai kecepatan angin yang telah diteliti.

**REFERENSI**

- [1] T. A. Adlie, T. A. Rizal, and Arjuanda, "Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Sudu Dengan Daya Output 1 KW," *Jurutera*, vol. 02, no. 02, pp. 072–078, 2015.
- [2] P. Strajhar *et al.*, "No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title," *Nat. Methods*, vol. 7, no. 6, p. 2016, 2016, [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26849997%0Ahttp://doi.wiley.com/10.1111/jne.12374>
- [3] D. P. Teja, "Studi numerik turbin angin Darrieus - Savonius dengan penambahan stage rotor Darrieus," *Tek. Mesin Inst. Teknol. Sepuluh Novemb.*, p. 105, 2017, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/2347/>
- [4] T. Marnoto, "Prarancangan Kincir Angin Axis Vertikal Type Baru Untuk Generator Listrik Tenaga Angin ( a Novel Design of Vertical Axis Wind Turbine for Power Generation )," pp. 1–6, 2010.
- [5] A. Pada, T. Angin, S. Itis, and T. U. Sebagai, "Listrik alternatif," 2014.
- [6] Ismail and T. Arrahman, "Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudu Dengan Kapasitas 3 MW," *Presisi*, vol. 6, no. 3, p. 113, 2017.
- [7] B. M. Suyitno and R. F. Anshari, "Studi Eksperimental Model Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 (Tiga) Sudu," *Tek. Ftup*, vol. 31, pp. 1–6, 2018.
- [8] A. Fadila and I. Zakaria, "Rancang Bangun Turbin Angin Tipe Darrieus Tiga Sudu Rangkap Tiga dengan Profil NACA 0006," *Eksergi*, vol. 15, no. 3, p. 102, 2020, doi: 10.32497/eksergi.v15i3.1785.
- [9] Ismail, E. Pane, and Triyanti, "Optimasi Perancangan Turbin Angin Vertikal Tipe Darrieus Untuk Penerangan Di Jalan Tol," *Semin. Nas. Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. November, p. 12, 2017.