

UJI KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL BILAH INVERSE TAPER BERDIAMETER 2,6 M DI GEDUNG C FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS RIAU

Fachri Husaini¹, Awaludin Martin²

Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau

¹Fachri.husaini5911@student.unri.ac.id, ²Awaludinmartin01@gmail.com

Abstract

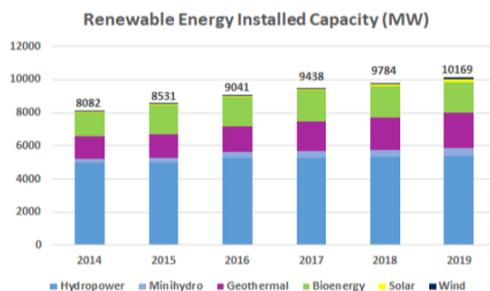
Electrical energy requirements which continues increase and diminishing fossil fuels resulting research in the field of renewable wind energy developing rapidly, one of the renewable energies is wind turbines. This study aims to determine the performance of the horizontal axis wind turbine by using the type of blade inverse taper NACA 4412 with a composite fiber empty palm fruit bunch combined with fiberglass. The wind turbine is placed on top of the building C Faculty of Engineering, Riau University at height ± 15 m. The output power is measured using a 300 Watt generator. The data take form of wind speed, air temperature, voltage and shaft rotation speed. Data collection was carried out using arduino uno which was recorded in the data logger for 1 day, namely on 15 and 16 August 2020. After testing the wind turbine, the highest wind speed data was obtained, namely on August 16 with a wind speed of 5.12 m/s at 12:28:13 WIB. The maximum shaft rotation obtained from the maximum wind speed is 9.4 Rpm with a C_p of 0.08 and a TSR of 0.1.

Keyword : wind turbine, wind speed, inverse taper.

1. Pendahuluan

Konsumsi energi dewasa ini semakin meningkat seiring waktu, hal itu di karenakan bertambahnya jumlah populasi manusia dan terfokus kepada penggunaan energi fosil yaitu bahan bakar minyak yang terbatas dan harganya yang relatif semakin meningkat. Menurut Badan Perencanaan Pembangunan Nasional pertumbuhan penduduk dari tahun 2010 hingga tahun 2019 terus mengalami peningkatan dari 238 juta menjadi 268 juta [1]. Peningkatan penduduk akan berdampak pada peningkatan permintaan listrik per kapita. Permintaan listrik per kapita berdasarkan data dari Dewan Energi Nasional pada tahun 2025 akan mencapai 2.030 kWh/kapita dan pada tahun 2050 akan mencapai 6.723 kWh/kapita. Kondisi ini masih berada di bawah target listrik per kapita yang terdapat dalam Kebijakan Energi Nasional yaitu 2.500 kWh/kapita di tahun 2025 dan 7.500 kWh/kapita tahun 2050 [2].

Tingginya permintaan listrik dipengaruhi oleh meningkatnya penggunaan alat elektronik terutama di sektor rumah tangga. Pada sisi lain tersedia berbagai jenis energi alternatif yang dapat diperbaharui.



Gambar 1. Energi Terbarukan di Indonesia [3]

Adapun instalasi turbin angin yang terpasang berdasarkan *Indonesia Energy Outlook* pada tahun 2019 yaitu sebesar 169 MW [3]. Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) adalah jenis energi terbarukan yang memanfaatkan angin sebagai sumber energinya. Karena sifatnya yang ramah lingkungan, sumber energi angin mulai dikembangkan guna mengantisipasi terjadinya krisis energi [4]. Turbin angin sebagai salah satu pembangkit energi yang mempunyai potensi besar untuk memecahkan masalah kebutuhan energi listrik yang ada di wilayah terpencil dan tidak mendapatkan suplai energi listrik dari PLN.

Sibuea (2019), melakukan penelitian dengan menggunakan bilah *inverse taper* NACA 4415 dengan penambahan ketebalan sebesar 30%. Adapun panjang jari-jari bilah sebesar 1,3 m dan daya perancangan yaitu 300 Watt. Setelah dilakukan pengujian didapatkan daya maksimum turbin angin pada hari ke-6 yaitu 6,96 Watt terjadi pada kecepatan angin 6,21 m/s [4].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *performance* turbin angin sumbu horizontal yang telah dirancang sesuai dengan kecepatan angin di Gedung C Fakultas Teknik Universitas Riau.

Dengan adanya penelitian ini di harapkan dapat menjadi referensi dalam mengkaji turbin angin dengan bilah *inverse taper* NACA 4412 sesuai dengan kecepatan angin yang ada di Gedung C Fakultas Teknik Universitas Riau.

2. Tinjauan Pustaka

Energi angin merupakan jenis sumber energi terbarukan yang potensial untuk menghasilkan energi mekanik [5]. Secara umum energi kinetik yang terdapat pada angin dapat diubah menjadi

energi mekanik untuk memutar peralatan, selanjutnya dari energi mekanik yaitu untuk memutar generator dan menghasilkan listrik sistem ini disebut sistem konversi energi angin [5].

2.1 Turbin Angin

Turbin angin adalah alat yang berfungsi untuk mengubah daya angin menjadi daya mekanik dalam bentuk putaran poros dan dilanjutkan ke generator untuk menghasilkan energi listrik [6]. Prinsip dasar bahwa sebuah turbin angin dapat berputar pada porosnya adalah karena adanya vektor dari gaya *lift* dan gaya *drag* yang dihasilkan akibat bentuk aerodinamis dari penampang bilah ketika *airfoil* terkena angin dari arah depan [6].

2.2 Jenis-jenis Turbin Angin

Turbin berdasarkan arah sumbu rotasi rotornya, turbin angin terbagi atas dua jenis yaitu:

- a. Turbin Angin Sumbu Horizontal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya paralel terhadap permukaan tanah [7]. Turbin angin sumbu horizontal memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara dan diarahkan menuju arah datangnya angin.



Gambar 2. Turbin Angin Sumbu Horizontal [7]

- b. Turbin Angin Sumbu Vertikal Merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya tegak lurus terhadap permukaan tanah [8]. Turbin angin sumbu vertikal berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. Dengan sumbu yang vertikal, generator serta *gearbox* bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi lebih mudah untuk dilakukan proses *maintenance*.



Gambar 3. Turbin Angin Sumbu Vertikal [7]

2.3 Generator

Generator adalah bagian yang sangat penting dalam konversi energi angin menjadi energi listrik [9]. Ketika rotor mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik rotasi rotor, generator mengubah energi mekanik rotasi rotor menjadi energi listrik [9]. Terdapat beberapa macam generator yang dapat digunakan. Berdasarkan arah arus yang dikeluarkan, generator dibagi menjadi dua macam, yaitu :

- a. Generator arus searah (DC)

Generator arus searah menghasilkan tegangan yang tetap dan jika dihubungkan beban, akan menghasilkan arus yang searah pula [10]. Generator arus searah dapat menghasilkan listrik pada putaran tinggi, jenis generator ini memerlukan transmisi untuk menaikkan putaran [10].

- b. Generator arus bolak-balik (AC)

Generator arus bolak-balik menghasilkan tegangan yang arahnya bolak-balik, jika dihubungkan dengan beban akan menimbulkan arus bolak-balik pula [10]. Generator AC dapat menghasilkan daya pada putaran yang bervariasi, tergantung pada spesifikasi generator [10].

2.4 Arduino

Arduino adalah pengendali mikro *single-board* yang bersifat *open-source*, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang [11]. *Hardware* dalam *arduino* memiliki prosesor *Atmel AVR* dan menggunakan *software* dan bahasa sendiri [11]. *Arduino uno* adalah suatu papan elektronik yang mengandung mikrokontroler *ATMega328* (sebuah keping yang secara fungsional bertindak seperti sebuah komputer), perangkat ini dapat dimanfaatkan untuk mewujudkan rangkaian elektronik [11].



Gambar 4. *Arduino Uno*

2.5 Data Logger

Data logger berperan sebagai penyimpanan data berupa kecepatan angin, temperatur lingkungan, tegangan dan kecepatan putaran poros rotor pada turbin angin. Pada penelitian ini data *logger* yang digunakan berbasis *arduino uno* yang dilengkapi dengan sensor putaran, sensor kecepatan angin, sensor tegangan dan temperatur lingkungan.

2.6 Parameter-parameter Turbin Angin

Adapun parameter kaji eksperimental yang digunakan dalam pengolahan data yaitu:

a. Potensi Daya Angin

Adalah daya yang dihasilkan oleh kecepatan angin terhadap luas penampang (A_T) [12].

$$P = \frac{1}{2} \rho_a A_T V^3 \quad (2.1)$$

Keterangan :

P = Potensi adanya daya angin (*Watt*)

ρ_a = Densitas udara (kg/m^3)

A_T = Luas sapuan (m^2)

V = Kecepatan angin (m/s)

b. Power Coefficient

Power Coefficient (C_p) adalah suatu nilai yang menunjukkan kemampuan turbin mengekstrak daya angin [13].

$$C_p = \frac{P_r}{P} \quad (2.2)$$

Keterangan :

C_p = *Power Coefficient*

P = Potensi daya angin (*Watt*)

P_r = Daya yang diperoleh (*Watt*)

c. Tip Speed Ratio (λ)

TSR adalah perbandingan antara kecepatan ujung bilah dengan kecepatan angin [14].

$$\lambda = \frac{R\Omega}{V} \quad (2.3)$$

Keterangan :

λ = *Tip speed ratio*

R = Jari-jari rotor (m)

V = Kecepatan angin (m/s)

d. Daya Generator

Daya Generator didefinisikan sebagai produk dari tegangan dan kuat arus berdasarkan efisiensi generator [13].

$$P_r = V \times I \times \text{Cosphi} \quad (2.4)$$

Keterangan:

P = Daya listrik (*Watt*)

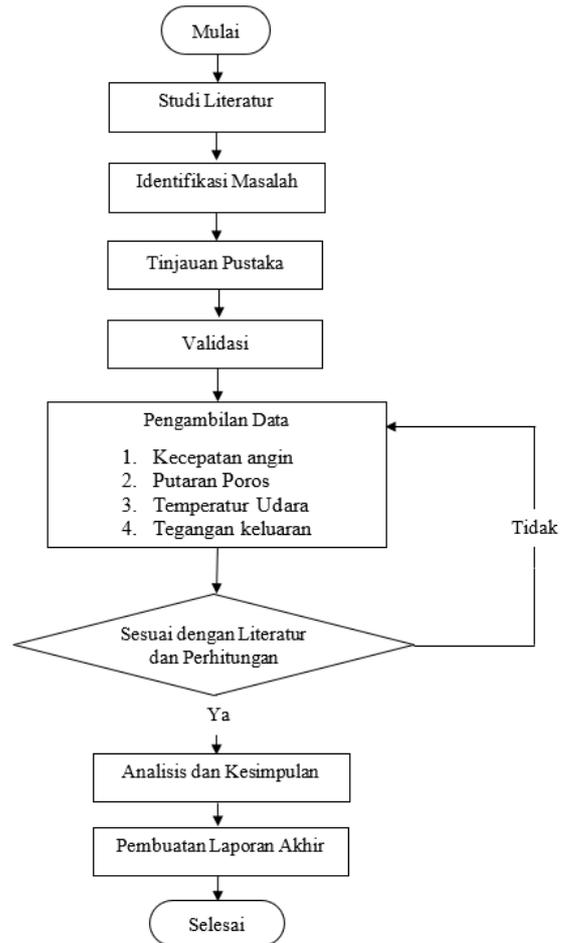
V = Tegangan (V)

I = Kuat arus (A)

Cosphi = Efisiensi Generator

3. METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian secara eksperimental. Adapun penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan angin terhadap daya listrik yang dihasilkan. Turbin angin yang diuji adalah turbin angin sumbu horizontal dengan tipe bilah *Inverse taper* sebanyak 5 bilah pada kecepatan angin rancangan untuk 300 *Watt* yaitu pada 6,5 m/s .



Gambar 5. Diagram Alir Kaji Eksperimental

3.1 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Variabel Bebas

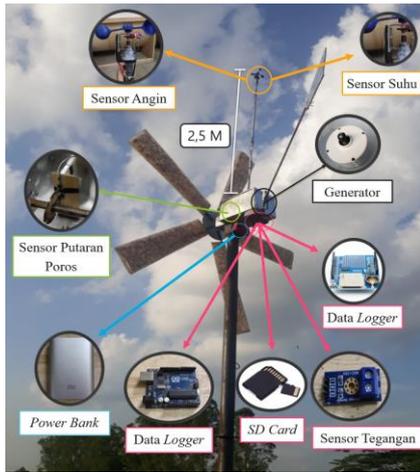
Variabel bebas merupakan variabel yang menjadi sebab berubah atau timbulnya variabel terikat. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel bebas adalah kecepatan angin dan temperatur lingkungan.

2. Variabel Terikat

Merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah kinerja turbin angin dengan melihat besarnya daya yang dihasilkan turbin angin.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dikendalikan dan dibuat konstan sehingga peneliti dapat melakukan penelitian yang bersifat perbandingan. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah diameter bilah dan tinggi tempat pengujian turbin angin.



Gambar 6. Instalasi Pengukuran

3.2 Alat Ukur

Dalam penelitian ini pengumpulan data dilakukan secara langsung, dimana pengambilan data didasarkan pada hasil pengujian turbin angin yang memiliki tiang dengan tinggi 4,2 m, ditempatkan di atas bangunan dengan tinggi ± 15 m. Data yang akan diambil, direkam dan disimpan menggunakan data logger serta arduino sumber terbuka sebagai mikrokontroler. Adapun data yang diperoleh dari hasil pengujian sebagai berikut:

1. Kecepatan angin
2. Kecepatan putaran poros
3. Temperatur lingkungan
4. Tegangan generator

Sebelum sensor dijalankan pada turbin angin, maka perlu di validasi terlebih dahulu dengan menggunakan alat ukur dengan cara :

1. Sensor angin dengan *wind tunnel*.
2. Sensor temperatur dengan variasi air temperatur dingin, ruangan dan panas.
3. Sensor kecepatan putaran dengan *tachometer*.
4. Sensor tegangan dengan multimeter terhadap variasi tegangan baterai 1,5 V , 3 V dan 8 V.



Tachometer



Digital Thermometer



Vane Anemometer



Multitester

Gambar 7. Alat Ukur

4. PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada teori dasar untuk menghitung parameter mengenai kinerja turbin angin. Adapun spesifikasi turbin angin yang diuji adalah sebagai berikut :

Daya Rancangan : 300 Watt

Diameter Bilah : 2,6 m

Material Bilah : Resin epoxy dikombinasikan fiberglass dengan penguat serat tandan kosong sawit.

Luas Sapuan : 5.3 m²

TSR Rancangan : 2,5

Tinggi Tiang : 4,2 m

Cp Rancangan : 0,44

Berdasarkan spesifikasi perancangan data di atas, kemudian diambil data pengujian selama satu hari dengan menggunakan sistem arduino dengan penyimpanan data logger. Berikut adalah data yang didapatkan pada pengujian.

Tabel 1. Data Pengujian

| Waktu Pengujian | Putaran Poros (rpm) | Kecepatan Angin (m/s) | Temperatur (°C) | Tegangan (V) |
|-----------------|---------------------|-----------------------|-----------------|--------------|
| 18:00 | 0,8 | 2,42 | 30,6 | 0,29 |
| 19:00 | 0,0 | 1,38 | 30,3 | 0,00 |
| 20:00 | 1,4 | 2,73 | 28,5 | 0,51 |
| 21:00 | 0,0 | 0,95 | 27,6 | 0,00 |
| 22:00 | 0,0 | 0,32 | 27,2 | 0,00 |
| 23:00 | 0,0 | 0,88 | 26,9 | 0,00 |
| 0:00 | 0,0 | 0,44 | 26,4 | 0,00 |
| 1:00 | 0,0 | 0,27 | 26,2 | 0,00 |
| 2:00 | 0,0 | 0,53 | 25,7 | 0,00 |
| 3:00 | 0,0 | 0,29 | 25,3 | 0,00 |
| 4:00 | 0,0 | 0,39 | 25,0 | 0,00 |
| 5:00 | 0,0 | 0,42 | 25,2 | 0,00 |
| 6:00 | 0,0 | 0,27 | 28,0 | 0,00 |
| 7:00 | 0,0 | 0,62 | 30,1 | 0,00 |
| 8:00 | 1,2 | 2,64 | 30,4 | 0,44 |
| 9:00 | 7,6 | 4,20 | 31,3 | 2,76 |
| 10:00 | 8,7 | 4,78 | 32,1 | 3,17 |
| 11:00 | 5,1 | 3,27 | 32,8 | 1,86 |
| 12:00 | 9,4 | 5,12 | 33,6 | 3,42 |
| 13:00 | 1,3 | 2,74 | 34,6 | 0,47 |
| 14:00 | 1,7 | 2,95 | 34,8 | 0,62 |
| 15:00 | 0,0 | 1,46 | 33,7 | 0,00 |
| 16:00 | 3,8 | 3,28 | 32,8 | 1,38 |

Setelah didapatkan data pengujian, kemudian dilakukanlah perhitungan berdasarkan parameter-parameter turbin angin yang ada pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Data

| Waktu Pengujian | Putaran Poros (rpm) | Kecepatan Angin (m/s) | Temperatur (°C) | Arus (A) | Tegangan (V) | P udara (Kg/m ³) | Daya Yang Diperoleh (Watt) | Daya angin potensial (Watt) | Ω | TSR | C_p |
|-----------------|---------------------|-----------------------|-----------------|----------|--------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------|------|-------|
| 18:00 | 0,8 | 2,42 | 30,6 | 12 | 0,29 | 1,1617 | 2,79 | 43,63 | 0,08 | 0,01 | 0,06 |
| 19:00 | 0,0 | 1,38 | 30,3 | 12 | 0,00 | 1,1629 | 0,00 | 8,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 20:00 | 1,4 | 2,73 | 28,5 | 12 | 0,51 | 1,1700 | 4,89 | 63,08 | 0,15 | 0,02 | 0,08 |
| 21:00 | 0,0 | 0,95 | 27,6 | 12 | 0,00 | 1,1736 | 0,00 | 2,67 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 22:00 | 0,0 | 0,32 | 27,2 | 12 | 0,00 | 1,1752 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 23:00 | 0,0 | 0,88 | 26,9 | 12 | 0,00 | 1,1764 | 0,00 | 2,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0:00 | 0,0 | 0,44 | 26,4 | 12 | 0,00 | 1,1784 | 0,00 | 0,27 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1:00 | 0,0 | 0,27 | 26,2 | 12 | 0,00 | 1,1792 | 0,00 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2:00 | 0,0 | 0,53 | 25,7 | 12 | 0,00 | 1,1812 | 0,00 | 0,47 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3:00 | 0,0 | 0,29 | 25,3 | 12 | 0,00 | 1,1828 | 0,00 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4:00 | 0,0 | 0,39 | 25,0 | 12 | 0,00 | 1,1840 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 5:00 | 0,0 | 0,42 | 25,2 | 12 | 0,00 | 1,1832 | 0,00 | 0,23 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6:00 | 0,0 | 0,27 | 28,0 | 12 | 0,00 | 1,1720 | 0,00 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7:00 | 0,0 | 0,62 | 30,1 | 12 | 0,00 | 1,1636 | 0,00 | 0,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 8:00 | 1,2 | 2,64 | 30,4 | 12 | 0,44 | 1,1625 | 4,19 | 56,68 | 0,13 | 0,01 | 0,07 |
| 9:00 | 7,6 | 4,20 | 31,3 | 12 | 2,76 | 1,1591 | 26,54 | 227,57 | 0,80 | 0,08 | 0,12 |
| 10:00 | 8,7 | 4,78 | 32,1 | 12 | 3,17 | 1,1560 | 30,38 | 334,57 | 0,91 | 0,10 | 0,09 |
| 11:00 | 5,1 | 3,27 | 32,8 | 12 | 1,86 | 1,1534 | 17,81 | 106,87 | 0,53 | 0,06 | 0,17 |
| 12:00 | 9,4 | 5,12 | 33,6 | 12 | 3,42 | 1,1503 | 32,83 | 409,14 | 0,98 | 0,10 | 0,08 |
| 13:00 | 1,3 | 2,74 | 34,6 | 12 | 0,47 | 1,1465 | 4,54 | 62,50 | 0,14 | 0,01 | 0,07 |
| 14:00 | 1,7 | 2,95 | 34,8 | 12 | 0,62 | 1,1458 | 5,94 | 77,95 | 0,18 | 0,02 | 0,08 |
| 15:00 | 0,0 | 1,46 | 33,7 | 12 | 0,00 | 1,1499 | 0,00 | 9,48 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 16:00 | 3,8 | 3,28 | 32,8 | 12 | 1,38 | 1,1534 | 13,27 | 107,86 | 0,40 | 0,04 | 0,12 |
| 17:00 | 0,6 | 2,34 | 31,3 | 12 | 0,22 | 1,1591 | 2,10 | 39,36 | 0,06 | 0,01 | 0,05 |

Pada pengujian didapatkan kecepatan angin yang terjadi sangat bervariasi. Kecepatan angin tertinggi diperoleh pada pukul 12:28:13 WIB yakni dengan kecepatan 5,12 m/s.

5. PEMBAHASAN

Berdasarkan data yang diperoleh selama pengujian, kecepatan angin yang terjadi di Fakultas Teknik Universitas Riau sangat bervariasi. Kecepatan angin yang terekam pada data *logger* mulai dari 0 m/s hingga 5,12 m/s. Adapun kecepatan angin tertinggi didapatkan yaitu 5,12 m/s diperoleh pada tanggal 16 Agustus 2020 tepatnya pukul pada pukul 12:28:13 WIB. Pada kecepatan angin tertinggi didapatkan kecepatan putaran poros maksimal sebesar 9,4 Rpm. Adapun daya listrik yang dihasilkan dengan menggunakan generator spesifikasi 300 *Watt* dengan arus sebesar 12 Ampere dan nilai efisiensi generator sebesar 80% atau 0,8 dari *Watt* yang dihasilkan.

Turbin angin dirancang mampu berputar pada kecepatan angin maksimal 6,5 m/s dan daya yang dihasilkan sebesar 300 *Watt* dengan menggunakan perbandingan roda gigi sebanyak 2 tingkat dan menghasilkan perbandingan roda gigi sebesar 1:16. Adapun *gear ratio* mempengaruhi nilai daya yang dihasilkan dan putaran poros turbin angin. sehingga akan berdampak pada nilai C_p dan TSR.

Power coefficient adalah kemampuan suatu bilah turbin angin mengekstrak angin, sedangkan *tip speed ratio* adalah perbandingan antara kecepatan ujung bilah dengan kecepatan angin. Nilai *tip speed ratio* berbanding lurus terhadap

putaran bilah dan berbanding terbalik terhadap kecepatan angin. Turbin angin dirancang dengan C_p sebesar 0,44 dan TSR sebesar 2,5. Nilai C_p dan TSR yang didapatkan pada pengujian diperoleh pada saat daya terbesar yang dihasilkan yaitu 32,83 *Watt* dengan C_p turbin yang didapatkan 0,08 dan TSR sebesar 0,1. Nilai C_p yang terjadi sangat rendah, begitu juga dengan TSR.

Pada pengujian ini pengukuran kecepatan angin dilakukan dengan sensor angin, yaitu *cup* anemometer. Sensor angin ini dapat menerima angin dari segala arah sehingga dapat bekerja dengan baik. Turbin angin menggunakan ekor agar selalu menghadap ke arah datangnya angin yang terus berubah setiap detiknya. Hal ini menyebabkan proses konversi bilah menjadi tidak maksimal, karena respon ekor sangat jauh berbeda dengan *cup* anemometer.

6. SIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kecepatan angin tertinggi diperoleh pada pengujian hari ketiga tepatnya pukul 12:28:13 WIB dengan kecepatan 5,12 m/s.
2. Pada putaran poros maksimal 9,4 Rpm diperoleh TSR 0,08 dan C_p sebesar 0,1 dengan kecepatan angin 5,12 m/s.
3. Daya (*Watt*) eksperimental yang dihasilkan oleh turbin angin mencapai 32,83 *Watt*, walaupun tidak tercapai sesuai dengan rancangan $P_e = 300$ *Watt*.

Daftar Pustaka

- [1] Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BPPN). (2019). *Proyeksi Penduduk Indonesia 2010 – 2035*. Jakarta : Indonesia (ISBN: 978-979-064-606-3).
- [2] Dewan Energi Nasional (DEN). (2019). *Indonesian Energy Outlook 2019*. Jakarta : Indonesia (ISSN 2527 3000).
- [3] Praditya, A. 2020. *Tracking Progress and Review of Outlook Clean Energy Development in Indonesia Progress*. Institut For Essentials Service Reforms.
- [4] Sibuea, Edwin. 2020. *Uji Kinerja Turbin Angin Sumbu Horizontal Dengan Tipe Bilah Inverse Taper dengan Jari-Jari 1,3 m pada Kecepatan Angin di Pekanbaru*. Laboratorium Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau (JOM F.Teknik Volume 7 Edisi 1 Januari s/d Juni 2020).
- [5] Pratama, Deni. 2016. *Rancang Bangun Sistem Pengendalian Blade Pitch Angle Pada Prototipe Turbin Angin Berbasis euro-Fuzzy*. Undergraduate Thesis of Physics Engineering, Institut Teknologi Surabaya (RSF 629.89 Pra.r).
- [6] Hermawan, Ferry. 2009. *Rancang Bangun dan Analisa Turbin Angin untuk Bangunan Rendah Energi (Zero Building)*. Skripsi, Fakultas Teknik, Teknik Mesin, Universitas Indonesia.
- [7] Letcher, T. (2017). *Wind Energy Engineering A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines*. United Kingdom : Academic Press is an imprint of Elsevier.
- [8] Manwell, J., MCGowan. J., & Rogers. A. (2009). *Wind Energy Explained Theory, Design and Application Second Edition*. USA: University of Massachusetts
- [9] Piggott, Hugh. (2000). *Windpower Workshop*. British : British Wind Energy Association.
- [10] Aryanto, 2013. *Pengaruh Kecepatan Angin Dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram (ISSN: 2088-088x)
- [11] Hurisantri, W. 2016. *Sistem Pendeteksi Warna dan Nominal Uang untuk Penyandang Tuna Netra Berbasis Arduino Uno*. Diploma III, Teknik Elektro Program Studi Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.
- [12] Mathew, S. (2006). *Wind energy Fundamentals, Resource Anlysis and Economics*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [13] Ferinando, Tino. 2017. *Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu Horizontal Berdiameter 2,6 Meter Di Gedung C Fakultas Teknik Universitas Riau*. Laboratorium Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau (JOM F.Teknik Volume 4 No.1 Februari 2017).
- [14] Hatta, M. 2017. *Perancangan Bilah Tipe Inverse taper pada Turbin Angin Berdasarkan Kondisi Angin Di Pekanbaru*. Laboratorium Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau (JOM F.Teknik Volume 4 No.1 Februari 2017).