

## Rancang Bangun *Low Cost Wind Turbine* Untuk Pengisian Baterai

Hegi Putra Pratama <sup>1</sup>, Diana Alia <sup>2</sup>, Maulidiah Rahmawati <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Politeknik Pelayaran Surabaya

**Abstract.** Renewable energy is increasingly popular and in demand throughout the world as an alternative to increasingly limited fossil energy, one of which is wind turbines. Wind turbine research on ships has great potential in developing renewable energy at sea. The aim of this research is to increase the efficiency of converting wind energy into electrical energy by designing a low cost wind turbine and analyzing the design efficiency of the wind turbine blade angle, namely 90°, 95°, 100°. This research uses an experimental method with observation techniques, as well as measurement and recording as data collection techniques. This research was conducted on the Bung Tomo training ship for 3 days. The research results show that making a wind turbine using PVC as a base material costs Rp. 243,000.00 and produces the largest average voltage of 73.8 Wh. The influence of variations in the angle of the wind turbine blade can be seen that at an angle of 100° it has the largest average power output, namely 1.23 watts per minute and the battery charging time is based on an average current of 0.28 A, namely 12.5 hours when fully charged, whereas at The 90° angle produces the smallest average power of 0.76 watts per minute and the battery charging time is 16.6 hours when fully charged. So the 100° angle is more effective in charging the battery than the 95° and 90° angles. The greater the blade angle, the greater the rotation and produce greater voltage, this is influenced by the area of the turbine exposed to wind.

**Keyword :** Wind turbine, Battery, Blade angle.

**Abstrak.** Energi terbarukan semakin populer dan diminati diseluruh dunia sebagai alternatif pengganti energi fosil yang semakin terbatas, salah satunya adalah wind turbine. Penelitian wind turbine di kapal memiliki potensi yang besar dalam pengembangan energi terbarukan di laut. Tujuan penelitian ini adalah meningkatkan efisiensi konversi energi angin menjadi energi listrik dengan merancang wind turbine yang rendah biaya dan menganalisis efektivitas desain sudut sudu wind turbine yaitu 90°, 95°, 100°. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan teknik observasi, serta pengukuran dan pencatatan sebagai teknik pengumpulan data. Penelitian ini dilakukan di kapal latihan Bung Tomo selama 3 hari. Hasil penelitian menunjukkan pembuatan wind turbine dengan menggunakan bahan dasar pvc menghabiskan biaya sebesar Rp.243.000,00 dan menghasilkan tegangan rata-rata terbesar 73,8 Wh. Pengaruh variasi sudut sudu wind turbine terlihat bahwa pada sudut 100° memiliki hasil daya rata-rata terbesar yaitu 1,23 watt per menit dan lama pengisian baterai berdasarkan arus rata-rata 0,28 A yaitu 12,5 jam diisi hingga penuh, sedangkan pada sudut 90° menghasilkan daya rata-rata terkecil yaitu 0,76 watt per menit dan lama pengisian baterai 16,6 jam diisi hingga penuh. Sehingga sudut 100° lebih efektif dalam pengisian baterai dibandingkan sudut 95° dan 90°. Semakin besar sudut sudu maka putarannya semakin besar dan menghasilkan tegangan yang lebih besar, ini dipengaruhi oleh luas turbin terkena terpaan angin.

**Kata kunci :** Wind turbine, Baterai, Sudut sudu.

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif. Salah satunya adalah tenaga angin yang dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik telah dimanfaatkan di beberapa daerah di Indonesia. Salah satu jenis energi terbarukan yang dapat diregenerasi adalah energi angin karena tersedia secara alami dalam jumlah yang tidak terbatas. Tidak seperti batu bara, gas, dan minyak, yang merupakan sumber daya yang langka. Karena kecepatan angin rata-rata Indonesia yang umumnya rendah, negara ini belum banyak mengembangkan tenaga angin. Namun, tidak menutup kemungkinan untuk membangun pembangkit listrik tenaga angin di lokasi terpencil sebagai pengganti sumber energi angin tradisional (Hidayat, 2020).

Energi terbarukan semakin populer dan diminati di seluruh dunia sebagai alternatif pengganti energi fosil yang semakin terbatas. Menurut informasi yang didapatkan dari Our World in Data, sekitar 81,87% dari seluruh listrik yang dihasilkan di Indonesia pada tahun 2020 berasal dari sumber *energy* fosil (Rahman, 2022). Biaya bensin yang tinggi adalah akibat dari semakin menipisnya pasokan sumber energi. Mengingat salah satu armada transportasi juga menggunakan bahan bakar minyak, hal ini berpengaruh pada industri perkapalan (Bockmann&Sverre, 2011). Salah satu strategi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar minyak adalah dengan menggunakan bentuk energi baru terbarukan, termasuk energi angin. Ketergantungan kapal pada konsumsi bahan bakar minyak dapat dikurangi dengan menggunakan energi terbarukan. Selain itu, menggunakan energi terbarukan membantu mengurangi biaya operasional kapal. *Wind turbine* dapat meminimalkan jumlah bahan bakar minyak yang digunakan oleh generator kapal dan biaya pembelian bahan bakar ini, yang merupakan salah satu tujuannya. Selain itu, menempatkan wind turbine secara strategis di kapal membantu meningkatkan keluaran listriknya (Bentara dkk, 2018).

## TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Hadimuljono dkk (2019), pada tahun 1970-an, energi terbarukan mulai populer sebagai cara untuk mengimbangi kemajuan energi berbasis bahan bakar nuklir dan fosil. Sumber energi yang dapat dipulihkan dengan cepat secara alami dan melalui prosedur yang berkelanjutan dikenal sebagai energi terbarukan, Salah satu *energy* terbarukan adalah wind turbine. Febrielviyanti dkk (2015) menyebutkan bahwa prinsip wind turbine menghasilkan listrik adalah dengan mengubah energi angin menjadi gerak untuk baling-baling turbin. Sehingga baling-baling berputar pada porosnya, memungkinkan energi kinetik

diubah menjadi energi listrik. Kecepatan angin mempengaruhi putaran turbin yang selanjutnya diarahkan ke generator untuk menghasilkan arus dan tegangan.

Rumus kepadatan tenaga angin (wind power density) dapat dinyatakan sebagai:

$$P = 0,5 \times \rho \times A \times V^3$$

Keterangan:

$P$  = Kepadatan tenaga angin (Watt/m<sup>2</sup>)  $\rho$  = Kepadatan udara (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  = Luas penampang melintang daerah yang diterjang oleh angin (m<sup>2</sup>)  $V$  = Kecepatan angin (m/s)

Rumus ini digunakan untuk menghitung jumlah energi yang terkandung dalam aliran angin pada suatu luas penampang

Berikut adalah komponen-komponen yang diperlukan untuk membuat Low Cost Wind Turbine :

### 1. Dinamo



Gambar Dinamo

Sumber : <https://images.app.goo.gl/AwRZYWYSMXhfGA62A>

Alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik disebut dinamo. Dinamo beroperasi dengan prinsip induksi elektro-magnetik, mengadaptasi eksperimen Farady, yaitu memutar magnet dalam kumparan atau sebaliknya. Gaya magnet dalam koil akan bervariasi saat magnet digerakkan melewatinya, menghasilkan perbedaan potensial antara ujung- ujung koil dan pembangkitan energi listrik (Fuad, 2015).

Shaft rotor pada dinamo memiliki peranan untuk meneruskan putaran yang dihasilkan oleh baling-baling wind turbine yang selanjutnya putaran pada rotor memicu GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi. GGL induksi ini menciptakan arus listrik dari adanya gerakan magnet di sekitar kumparan.

## 2. PVC



Gambar Pipa PVC

Sumber : <https://images.app.goo.gl/WKf27Rn8mv8PsDCG8>

Menurut Wikipedia, Setelah polietilen dan polipropilena, polivinil klorida, atau PVC, adalah polimer termoplastik ketiga yang paling banyak digunakan secara global. Lebih dari 50% PVC yang diproduksi secara global digunakan dalam bangunan. PVC adalah bahan konstruksi kokoh dengan harga terjangkau yang mudah dipasang.

Pipa PVC dapat digunakan sebagai bahan dasar untuk membuat bilah turbin angin (baling-baling) dan telah sesuai dengan NACA 2410, salah satu Standar Amerika tentang Bilah Turbin. Pipa PVC juga merupakan salah satu bentuk olahan bahan plastik yang sesuai dengan bahan polimer yang dikenal kokoh dan digunakan untuk membuat sudu-sudu turbin angin.

## 3. Boost Converter



Gambar Boost Converter

Sumber : <https://images.app.goo.gl/radkAqfyfaa7mYzU8>

Menurut Febrianto dkk (2018), *Boost converter* atau *step-up converter* adalah suatu jenis konverter yang mampu menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi daripada tegangan masukannya. Tegangan yang dihasilkan oleh boost converter memiliki polaritas yang sejalan dengan tegangan yang diterimanya. Secara periodik, converter ini beroperasi dengan membuka dan menutup sakelarnya.

#### 4. Baterai (accu)



Gambar Baterai (accu)

Sumber : <https://images.app.goo.gl/sxSn1RSgnGR6sADd9>

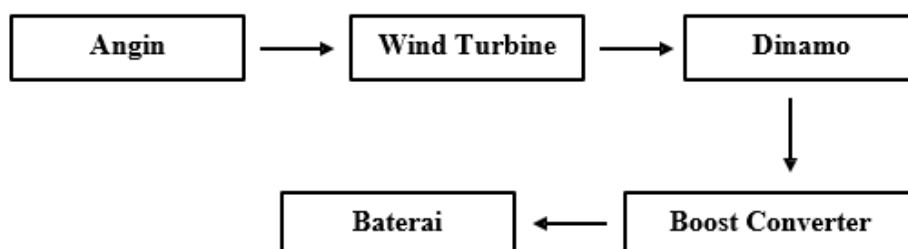
Baterai (*accu*) adalah elemen yang menerima daya dari sel listrik dan berfungsi sebagai media penyimpanan energi yang dapat diubah menjadi listrik. Dalam baterai, reaksi elektrokimia dengan efisiensi tinggi terjadi. Proses tersebut melibatkan pengubahan energi kimia menjadi listrik (*discharging*) dan pengubahan energi listrik kembali menjadi energi kimia (*charging*) (Arifin, 2022).

Berdasarkan kegunaannya tipe baterai dibagi menjadi dua yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan tipe baterai sekunder, yang *active material*-nya dapat diisi ulang kembali (*rechargeable*).

## METODE PENELITIAN

### A. Perancangan Sistem

Dalam rangka perancangan *Low Cost Wind Turbine*, peneliti melakukan penelitian secara sistematis. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu eksperimental. Penulis menganggap metode ini sangat cocok karena penelitian ini melakukan pengembangan sebuah alat dan melakukan penelitian berupa eksperimen untuk menguji efektivitas suatu alat (*prototype*). Berikut perencanaan alat yang akan dibuat :

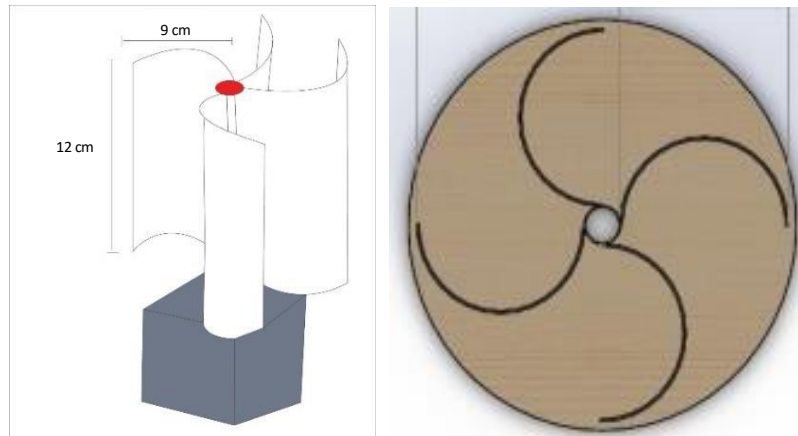


Gambar Block Diagram Perancangan Alat

Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan block diagram pada gambar berikut, shaft pada wind turbine dikopel dengan rotor pada dinamo dan akan berputar lalu menghasilkan tegangan. Tegangan yang dihasilkan pada dinamo merupakan arus searah (DC), setelah itu distabilkan dinaikkan tegangan nya oleh modul *boost converter* dan kemudian digunakan untuk mengisi baterai.

### B. Desain *Vertical Axis Wind Turbine*



Gambar Desain Tampak Atas dan Samping *Vertical Axis Wind Turbine*

Sumber : <https://ejournal.unib.ac.id/jamplifier/article/download/21673/10448>

Berikut desain dari *Vertical Axis Wind Turbine* pada gambar beserta ukurannya. Sudu pada *Vertical Axis Wind Turbine* yang akan dibuat menggunakan bahan dasar PVC yang akan dibelah berbentuk setengah lingkaran. Susunan sudu pada *Vertical Axis Wind Turbine* dibuat searah agar memaksimalkan gaya gerak ketika angin datang ke turbin. Pada saat angin mendorong sudu pada wind turbine yang putaran porosnya dikopel dengan rotor pada dinamo dan menghasilkan arus searah (DC). Sehubungan dengan kecepatan angin yang tidak stabil maka tegangan yang dihasilkan pada dinamo pun tidak stabil juga, jika langsung digunakan untuk mengisi baterai akan dapat merusak baterai itu sendiri. Maka diperlukan *boost converter* yang akan mengatur dan menaikkan tegangan keluaran dari wind turbine dan mengatur arus yang masuk ke baterai secara otomatis.

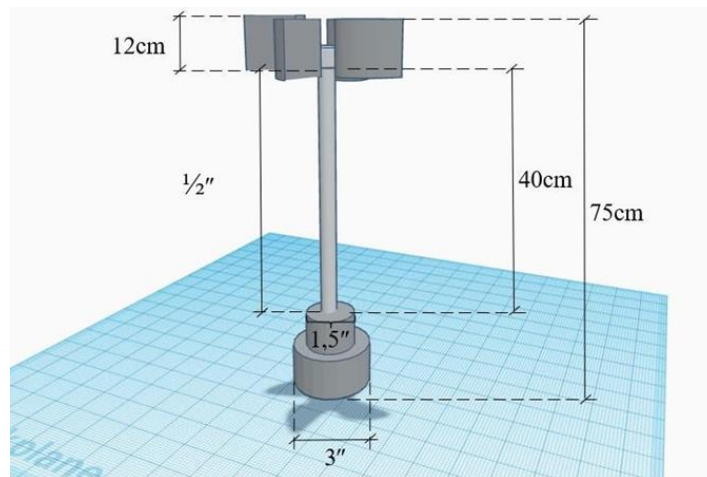
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Uji Coba Produk

Uji coba produk dilakukan untuk mengetahui produk yang digunakan dapat bekerja dengan baik. Berikut langkah-langkah pembuatan wind turbine dan cara pengujiannya :

#### 1. Konsep Perancangan dan Desain *Low Cost Wind Turbine*

Vertical axis wind turbine yang akan dibuat dengan tinggi 75cm yang mana terhitung dari ujung kaki tiang hingga ujung bilah turbin. Dengan jumlah 4 buah bilah turbin dengan tinggi 12cm dan tinggi tiang turbin 40cm. Bahan dari bilah turbin adalah pipa pvc yang berukuran 3 inch yang dibelah menjadi 2 bagian tiap 2 potong pipa yang panjangnya 12cm. Kaki turbin terbuat dari tutup pipa yang berukuran 1,5 inch dan 3 inch. Begitu pula dengan penyangga atau kaki tiang turbin yang terbuat dari pipa pvc berukuran 1,5 inch dengan panjang 40cm. Berikut desain 3D *vertical axis wind turbine*:



Gambar Desain 3D Wind Turbine  
Sumber : Dokumen Pribadi

#### 2. Pemilihan Alat dan Bahan

Pemilihan alat dan bahan dalam pembuatan *low cost wind turbine* sangatlah penting karena memiliki dampak langsung pada biaya produksi dan kinerja wind turbine. Berikut adalah alat dan bahan yang diperlukan untuk pembuatan wind turbine :

- Dinamo, sebagai media pengubah energy mekanik menjadi listrik.
- PVC, sebagai bahan dasar dalam pembuatan baling-baling wind turbine.
- Boost Converter, sebagai pengatur tegangan.
- Baterai, sebagai media penyimpanan listrik yang dihasilkan oleh dinamo.
- Kabel, sebagai penghubung tiap komponen.
- Volt meter dan ampere meter, sebagai sebagai alat ukur tegangan dan arus pada

penelitian.

- g. Adapter mini gerinda, sebagai penghubung antara shaft dinamo dengan baling-baling

### 3. Perancangan dan Pembuatan *Wind Turbine*

Proses perancangan dan pembuatan *wind turbine* meliputi beberapa langkah yaitu analisis kebutuhan energi listrik yang diinginkan dan identifikasi lokasi yang tepat untuk pemasangannya. Pembuatan konstruksi baling-baling dan struktur penyangga menggunakan bahan pipa pvc sesuai desai yaitu tinggi baling-baling 12cm, setelah itu pasang dinamo lalu hubungkan ke boost converter dan system penyimpanan energi yaitu baterai.



Gambar Proses Perancangan dan Pembuatan Wind Turbine  
Sumber : Dokumen Pribadi

### 4. Pengujian *Vertical Axis Wind Turbine*

Pengujian *Vertical Axis Wind Turbine* dilakukan untuk memperoleh kecepatan angin yang cukup untuk memutar baling-baling wind turbine, lokasi pengujian dilakukan didekat jembatan suramadu kenjeran pada siang hari, karena dilokasi tersebut kecepatan angin kuat sehingga dapat memutar baling-baling wind turbine dengan baik.



Gambar Pengujian Vertical Axis Wind Turbine  
Sumber : Dokumen Pribadi

## 5. Pengujian *Boost Converter*

Berdasarkan data variasi kecepatan angin yang diperoleh disekitar pelabuhan berlian pada KL.Bung Tomo. Dibutuhkan boost converter untuk menaikkan tegangan yang diperlukan untuk minimum pengisian baterai.

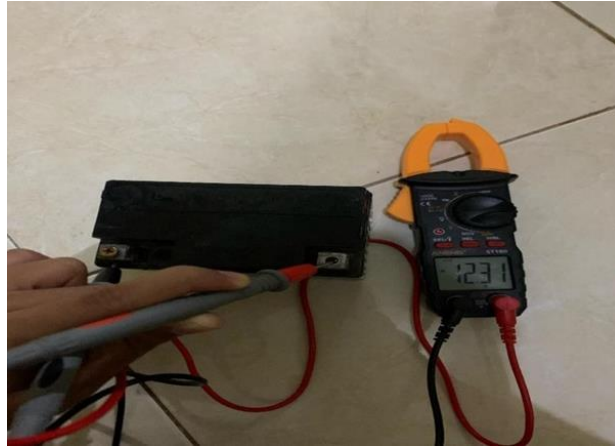


Gambar Pengujian Boost Converter  
Sumber : Dokumen Pribadi

Dari hasil pengambilan data primer untuk performa wind turbine, diatur set point hingga 14 volt untuk mengantisipasi adanya penurunan tegangan yang diakibatkan oleh aki baterai. Setelah rangkaian boost converter dihubungkan dengan aki baterai tegangannya menjadi turun hingga kisaran 13.8 volt. Hal ini disebabkan oleh adanya beban dari baterai, namun dengan tegangan output yang dihasilkan tersebut sudah bisa memenuhi syarat untuk melakukan pengisian daya pada baterai yakni minimal cycle use sebesar 13,6 volt.

## 6. Pengujian Baterai (Accu)

Baterai *accu* yang digunakan pada penelitian ini adalah *accu* kering merk ASPIRA dengan Spesifikasi dari *accu* ini sebagai berikut :



Gambar Pengujian Baterai  
Sumber : Dokumen Pribadi

Tegangan : 12 volt

Kapasitas : 3.5 Ah

Dari spesifikasi diatas *accu* ini memiliki tegangan kerja 12 volt. Penulis melakukan pengujian baterai *accu* dengan menghubungkannya pada multimeter. Dari hasil pengukuran didapatkan tegangan *accu* menggunakan multimeter sebesar 12,31 volt, dapat dipastikan *accu* masih dalam kondisi yang baik.

## B. Penyajian Data

### 1. Rincian Biaya Pembuatan Low Cost Wind Turbine

Salah satu strategi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar minyak adalah dengan menggunakan bentuk energi baru terbarukan. Saat ini desain yang digunakan banyak yang memanfaatkan sumber energi alternatif seperti angin. Konsep *low cost wind turbine* yang digunakan pada penelitian ini memiliki rincian biaya sebagai berikut :

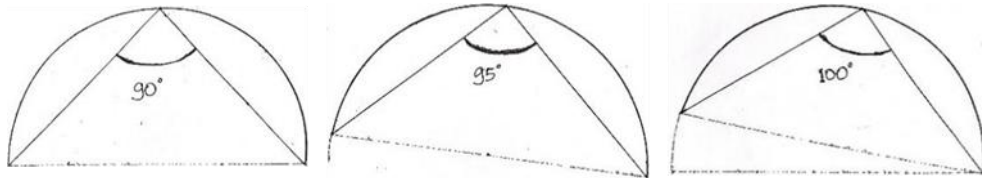
Tabel Rincian Biaya Wind Turbine

| No     | Komponen                        | Jumlah  | Harga (rupiah) |
|--------|---------------------------------|---------|----------------|
| 1      | Dinamo 12V                      | 1 pcs   | 83.000         |
| 2      | Boost Converter                 | 1 pcs   | 5.000          |
| 3      | Baterai 12V 3.5Ah (second)      | 1 pcs   | 40.000         |
| 4      | PVC ukuran (1.5", 0.5", 2", 3") | 5 pcs   | 95.000         |
| 5      | Skrup                           | 1 paket | 5.000          |
| 6      | Adapter Mini Gerinda            | 1 pcs   | 15.000         |
| Jumlah |                                 |         | 243.000        |

Sumber : Dokumen Pribadi

## 2. Data yang Diperoleh pada Setiap Variasi Sudut

Berdasarkan pengambilan data yang dilakukan di lokasi KL. Bung Tomo sekitar pelabuhan berlian dalam kondisi cuaca cerah berawan selama 3 hari pada tanggal 23 januari sampai 25 januari 2024 pukul 11.00 dalam rentan waktu 30 menit per sudut, maka diperoleh data dari setiap sudut sudu wind turbine yaitu  $90^\circ$ ,  $95^\circ$ ,  $100^\circ$ . Masing-masing desain sudut sudu ditunjukkan seperti dibawah ini :



Gambar Desain Sudut Sudu  $90^\circ$ ,  $95^\circ$ ,  $100^\circ$

### a. Hari Pertama pada Sudut $90^\circ$

Pada tabel menunjukan hasil pengujian *Vertical Axis Wind Turbine* pada hari pertama sudut  $90^\circ$  dimulai pukul 11.00 sampai pukul 11.30 WIB dengan pengambilan data yang diambil berupa kecepatan angin, tegangan, dan arus.

Tabel Data dengan Sudut  $90^\circ$

| Waktu | Kecepatan Angin (m/s) | Tegangan (volt) | Arus | Daya |
|-------|-----------------------|-----------------|------|------|
| 11.01 | 5,0                   | 4,3             | 0,4  | 1,72 |
| 11.02 | 4,5                   | 3,6             | 0,2  | 0,72 |
| 11.03 | 4,6                   | 4,0             | 0,3  | 1,17 |
| 11.04 | 4,3                   | 3,2             | 0,2  | 0,64 |
| 11.05 | 4,7                   | 3,9             | 0,2  | 0,78 |
| 11.06 | 3,2                   | 2,4             | 0,1  | 0,24 |
| 11.07 | 3,9                   | 2,8             | 0,1  | 0,28 |
| 11.08 | 3,9                   | 2,8             | 0,1  | 0,28 |
| 11.09 | 4,4                   | 3,7             | 0,2  | 0,74 |
| 11.10 | 4,6                   | 3,9             | 0,3  | 1,17 |
| 11.11 | 3,8                   | 2,6             | 0,1  | 0,26 |
| 11.12 | 3,5                   | 2,5             | 0,1  | 0,25 |
| 11.13 | 4,3                   | 3,2             | 0,2  | 0,64 |
| 11.14 | 5,2                   | 4,6             | 0,4  | 1,84 |
| 11.15 | 4,5                   | 3,6             | 0,2  | 0,72 |
| 11.16 | 4,8                   | 3,8             | 0,3  | 1,14 |
| 11.17 | 3,4                   | 2,2             | 0,1  | 0,22 |
| 11.18 | 4,4                   | 3,4             | 0,2  | 0,68 |
| 11.19 | 4,5                   | 3,4             | 0,2  | 0,68 |
| 11.20 | 3,1                   | 1,8             | 0,08 | 0,14 |
| 11.21 | 4,3                   | 3,2             | 0,2  | 0,64 |

|       |     |     |     |      |
|-------|-----|-----|-----|------|
| 11.22 | 4,2 | 3,2 | 0,2 | 0,64 |
| 11.23 | 3,8 | 2,6 | 0,1 | 0,26 |
| 11.24 | 4,4 | 3,4 | 0,2 | 0,68 |
| 11.25 | 5,3 | 4,7 | 0,4 | 1,88 |
| 11.26 | 4,3 | 3,2 | 0,2 | 0,64 |
| 11.27 | 4,5 | 3,6 | 0,2 | 0,72 |
| 11.28 | 5,0 | 4,3 | 0,4 | 1,72 |
| 11.29 | 4,6 | 3,9 | 0,3 | 1,17 |
| 11.30 | 3,4 | 2,2 | 0,1 | 0,22 |

Berdasarkan informasi dari tabel menunjukkan kecepatan angin terendah 3,1 m/s dengan nilai tegangan hasil pengukuran 1,8 volt dan arus 0,08 A menghasilkan daya 0,14 watt, sedangkan kecepatan angin tertinggi 5,3 m/s memiliki keluaran tegangan 4,7 volt dan arus 0,4 A menghasilkan daya 1,88 watt.

b. Hari Kedua pada Sudut 95°

Pada tabel menunjukkan hasil pengujian *Vertical Axis Wind Turbine* pada hari kedua sudut 95° dimulai pukul 11.00 sampai pukul 11.30 WIB dengan pengambilan data yang diambil berupa kecepatan angin, tegangan, dan arus.

Tabel Data dengan Sudut 95°

| Waktu | Kecepatan Angin (m/s) | Tegangan (volt) | Arus | Daya |
|-------|-----------------------|-----------------|------|------|
| 11.01 | 4,3                   | 3,3             | 0,2  | 0,66 |
| 11.02 | 4,1                   | 2,8             | 0,1  | 0,28 |
| 11.03 | 4,4                   | 3,0             | 0,1  | 0,3  |
| 11.04 | 5,5                   | 4,8             | 0,4  | 1,92 |
| 11.05 | 4,7                   | 4,0             | 0,3  | 1,2  |
| 11.06 | 3,7                   | 2,6             | 0,1  | 0,26 |
| 11.07 | 4,2                   | 3,4             | 0,2  | 0,68 |
| 11.08 | 3,3                   | 2,1             | 0,1  | 0,21 |
| 11.09 | 3,6                   | 3,0             | 0,2  | 0,6  |
| 11.10 | 5,3                   | 4,2             | 0,4  | 1,68 |
| 11.11 | 6,0                   | 5,1             | 0,45 | 2,29 |
| 11.12 | 5,5                   | 4,2             | 0,4  | 1,68 |
| 11.13 | 3,8                   | 3,0             | 0,2  | 0,6  |
| 11.14 | 3,4                   | 2,4             | 0,1  | 0,24 |
| 11.15 | 4,7                   | 4,0             | 0,3  | 1,2  |
| 11.16 | 3,2                   | 2,0             | 0,09 | 0,18 |
| 11.17 | 4,5                   | 3,4             | 0,2  | 0,68 |
| 11.18 | 4,0                   | 3,2             | 0,1  | 0,32 |

|       |     |     |     |      |
|-------|-----|-----|-----|------|
| 11.19 | 3,3 | 2,1 | 0,1 | 0,21 |
| 11.20 | 4,0 | 3,0 | 0,2 | 0,6  |
| 11.21 | 4,2 | 3,4 | 0,2 | 0,68 |
| 11.22 | 4,6 | 4,0 | 0,3 | 1,2  |
| 11.23 | 5,1 | 4,6 | 0,4 | 1,84 |
| 11.24 | 4,2 | 3,4 | 0,2 | 0,68 |
| 11.25 | 4,5 | 3,5 | 0,2 | 0,7  |
| 11.26 | 5,4 | 4,3 | 0,3 | 1,29 |
| 11.27 | 3,4 | 2,4 | 0,1 | 0,24 |
| 11.28 | 4,0 | 3,1 | 0,2 | 0,62 |
| 11.29 | 4,8 | 3,8 | 0,2 | 0,76 |
| 11.30 | 5,4 | 4,8 | 0,4 | 1,92 |

Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan informasi dari tabel menunjukan kecepatan angin terendah 3,2 m/s dengan nilai tegangan hasil pengukuran 2,0 volt menghasilkan daya 0,18 watt, sedangkan kecepatan angin tertinggi 6,0 m/s memiliki keluaran tegangan 5,1 volt dan arus 0,45 menghasilkan daya sebesar 2,29 watt.

c. Hari Ketiga pada Sudut 100°

Pada tabel menunjukan hasil pengujian *Vertical Axis Wind Turbine* pada hari ketiga sudut 100° dimulai pukul 11.00 sampai pukul 11.30 WIB dengan pengambilan data yang diambil berupa kecepatan angin, tegangan, dan arus.

Tabel Data dengan Sudut 100°

| Waktu | Kecepatan Angin (m/s) | Tegangan (volt) | Arus | Daya |
|-------|-----------------------|-----------------|------|------|
| 11.01 | 5,0                   | 4,5             | 0,4  | 1,8  |
| 11.02 | 3,6                   | 2,8             | 0,1  | 0,28 |
| 11.03 | 4,0                   | 3,5             | 0,2  | 0,7  |
| 11.04 | 4,7                   | 4,3             | 0,3  | 1,29 |
| 11.05 | 3,3                   | 2,9             | 0,2  | 0,58 |
| 11.06 | 4,0                   | 3,5             | 0,2  | 0,7  |
| 11.07 | 4,2                   | 3,6             | 0,2  | 0,72 |
| 11.08 | 5,2                   | 4,8             | 0,4  | 1,92 |
| 11.09 | 4,8                   | 4,3             | 0,4  | 1,72 |
| 11.10 | 4,9                   | 4,1             | 0,3  | 1,23 |
| 11.11 | 3,6                   | 3,1             | 0,1  | 0,31 |
| 11.12 | 4,0                   | 3,5             | 0,2  | 0,7  |
| 11.13 | 4,8                   | 4,3             | 0,4  | 1,72 |
| 11.14 | 3,8                   | 3,5             | 0,2  | 0,7  |
| 11.15 | 4,0                   | 3,6             | 0,2  | 0,72 |

|       |     |     |      |      |
|-------|-----|-----|------|------|
| 11.16 | 5,2 | 4,8 | 0,4  | 1,92 |
| 11.17 | 5,5 | 4,9 | 0,4  | 1,96 |
| 11.18 | 4,6 | 4,2 | 0,4  | 1,68 |
| 11.19 | 4,1 | 3,5 | 0,2  | 0,7  |
| 11.20 | 4,3 | 3,6 | 0,2  | 0,72 |
| 11.21 | 5,8 | 5,2 | 0,45 | 2,34 |
| 11.22 | 6,2 | 5,7 | 0,5  | 2,85 |
| 11.23 | 4,1 | 3,5 | 0,2  | 0,7  |
| 11.24 | 4,3 | 3,6 | 0,2  | 0,72 |
| 11.25 | 4,9 | 4,1 | 0,3  | 1,23 |
| 11.26 | 5,5 | 5,0 | 0,4  | 2    |
| 11.27 | 5,0 | 4,7 | 0,3  | 1,41 |
| 11.28 | 5,7 | 5,2 | 0,45 | 2,34 |
| 11.29 | 3,7 | 3,0 | 0,2  | 0,6  |
| 11.30 | 4,3 | 3,6 | 0,2  | 0,72 |

Sumber: Dokumen Pribadi

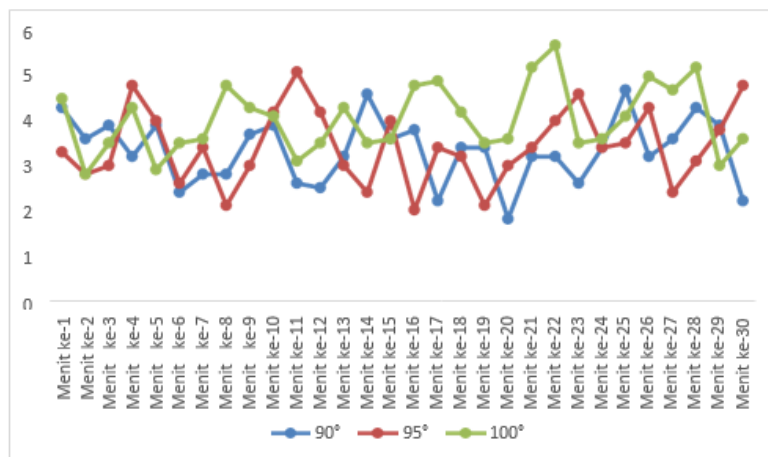
Berdasarkan informasi dari tabel menunjukkan kecepatan angin terendah 3,6 m/s dengan nilai tegangan hasil pengukuran 2,8 volt dan arus 0,1 A menghasilkan daya 0,28 watt, sedangkan kecepatan angin tertinggi 6,2 m/s memiliki keluaran tegangan 5,7 volt dan arus 0,5 A menghasilkan daya sebesar 2,85 watt.

### C. Analisis Data

Berdasarkan pengujian yang dilakukan oleh penulis pada *Vertical Axis Wind Turbine* untuk mengetahui efektivitas variasi sudut sudu pada *wind turbine* yaitu 90°, 95°, 100°.

#### 1. Analisa Efektivitas Setiap Variasi Sudut Turbin

Data pada tabel tegangan yang dihasilkan pada setiap variasi sudut dapat digambarkan pada grafik berikut :



Gambar Grafik Tegangan Setiap Sudut

Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan gambar, menunjukkan bahwa kecepatan angin pada sudut  $100^\circ$  menghasilkan tegangan yang lebih besar. Hasil analisis menunjukkan dengan kecepatan angin yang sama menghasilkan tegangan yang berbeda pada setiap sudut sudu. Berikut perbedaan tegangan pada setiap sudut sudu dikecepatan angin yang sama:

Tabel Sampel Perbandingan Tegangan pada Setiap Sudu pada Kecepatan Angin yang Sama

| Kecepatan Angin<br>(m/s) | Perbandingan Tegangan pada setiap Sudut (volt) |            |             |
|--------------------------|------------------------------------------------|------------|-------------|
|                          | $90^\circ$                                     | $95^\circ$ | $100^\circ$ |
| 4,6                      | 3,9                                            | 4,0        | 4,2         |
| 4,3                      | 3,2                                            | 3,3        | 3,6         |
| 4,7                      | 3,9                                            | 4,0        | 4,3         |
| 3,8                      | 2,6                                            | 3,0        | 3,5         |
| 4,8                      | 3,8                                            | 3,8        | 4,3         |
| 4,2                      | 3,2                                            | 3,4        | 3,6         |

Sumber : Dokumen Pribadi

Berdasarkan tabel, hasil analisis menunjukkan perbedaan tegangan yang dihasilkan oleh setiap sudut sudu pada *wind turbine*. Kenaikkan tegangan berbanding lurus dengan kecepatan angin, semakin besar kecepatan angin maka semakin besar tegangan yang dihasilkan. Tegangan juga dipengaruhi oleh sudut sudu, apabila semakin besar sudut sudu maka tegangan yang dihasilkan semakin besar. Hal tersebut didukung dengan penelitian Riyadi (2023), semakin kecil sudut sudu maka semakin besar hambatannya karena gaya hambat pada dasarnya dipengaruhi luas turbin terkena terpaan angin, akibatnya putarannya akan menjadi lebih kecil dan menghasilkan tegangan lebih kecil pula. Sebaliknya, semakin besar sudut sudu maka putarannya akan lebih besar dan menghasilkan tegangan yang lebih besar.

## 2. Perhitungan Daya Rata-Rata Setiap Variasi Sudut

Dari perhitungan daya yang diperoleh pada tabel maka didapatkan daya rata rata pada setiap sudut sudu yaitu :

a. Daya rata rata sudut  $90^\circ$

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} \quad (4.1)$$

$$P_{rata-rata} = \frac{22,88}{30}$$

$$P_{rata-rata} = 0,76 \text{ watt/min (45,6 Wh)}$$

b. Daya rata rata sudut  $95^\circ$

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} \quad (4.2)$$

$$P_{rata-rata} = \frac{25,72}{30}$$

$$P_{rata-rata} = 0,85 \text{ watt/min (51 Wh)}$$

c. Daya rata rata sudut  $100^\circ$

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} \quad (4.3)$$

$$P_{rata-rata} = \frac{36,98}{30}$$

$$P_{rata-rata} = 1,23 \text{ watt/min (73,8 Wh)}$$

## 3. Pengukuran Lama Pengisian Baterai

Berdasarkan informasi dari tabel maka didapatkan arus rata rata pada setiap variasi sudut sudu pada *wind turbine* yaitu pada sudut  $90^\circ$  rata-rata arus 0,21 A, sudut  $95^\circ$  rata-rata arus 0,22 A, dan pada sudut  $100^\circ$  rata-rata arus 0,28 A. maka dapat dihitung lama pengisian batterai (accu) dengan kapasitas sebesar 3,5Ah menggunakan rumus persamaan (3.3) yaitu:

a. Lama pengisian baterai (accu) sudut  $90^\circ$

$$T_\alpha = \frac{C}{I} \quad (4.4)$$

$$T_\alpha = \frac{3,5}{0,21}$$

$$T_\alpha = 16,6 \text{ jam}$$

Dapat ditemukan pada sudut  $90^\circ$  bahwa baterai (*accu*) diisi penuh dalam 16,6 jam.

b. Lama pengisian baterai (accu) sudut  $95^\circ$

$$T_\alpha = \frac{C}{I} \quad (4.5)$$

$$T_\alpha = \frac{3,5}{0,22}$$

$$T_\alpha = 15,9 \text{ jam}$$

Dapat ditemukan pada sudut  $95^\circ$  bahwa baterai (*accu*) diisi penuh dalam 15,9 jam.

c. Lama pengisian baterai (accu) sudut  $100^\circ$

$$T_\alpha = \frac{C}{I} \quad (4.6)$$

$$T_\alpha = \frac{3,5}{0,28}$$

$$T_\alpha = 12,5 \text{ jam}$$

Dapat ditemukan pada sudut  $100^\circ$  bahwa baterai (*accu*) diisi penuh dalam 12,5 jam.

#### 4. Hasil Analisis Efektivitas Lama Pengisian Baterai

Hasil perhitungan rata-rata daya dan lama pengisian baterai dari persamaan (3.2) dan (3.3) menunjukkan bahwa sudut  $90^\circ$  menghasilkan daya rata-rata 0,76 watt/min dan pengisian baterai selama 16,6 jam diisi hingga penuh. Sudut  $95^\circ$  menghasilkan daya rata-rata 0,85 watt/min dan pengisian baterai selama 15,9 jam diisi hingga penuh. Sedangkan pada sudut  $100^\circ$  menghasilkan daya rata-rata 1,23 watt/min dan pengisian baterai selama 12,5 jam diisi hingga penuh. Hal tersebut menjelaskan lama pengisian baterai paling cepat pada sudut  $100^\circ$ , sehingga menunjukkan bahwa sudut  $100^\circ$  lebih efektif dalam pengisian baterai dibandingkan sudut  $95^\circ$  dan  $90^\circ$ .

## KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan, pembuatan dan pengujian *Low Cost Wind Turbine* Untuk Pengisian Baterai, dan melakukan analisis data pada penelitian ini maka dapat disimpulkan:

1. Untuk merancang dan membuat wind turbine rendah biaya seluruhnya menggunakan bahan PVC. PVC dipilih karena mudah dibentuk, kokoh, ringan dan juga ekonomis mudah didapatkan. Dengan total biaya Rp. 243.000,00 dapat menghasilkan daya rata-rata terbesar 73,8 Wh.
2. Didapatkan pengaruh variasi sudut terhadap efektivitas pengisian baterai dengan pengisian tercepat pada sudut  $100^\circ$  yaitu 12,5 jam diisi hingga penuh dan paling lama pada sudut  $90^\circ$  yaitu 16,6 jam diisi hingga penuh. Sehingga sudut  $100^\circ$  lebih efektif dalam pengisian baterai
3. dibandingkan sudut  $95^\circ$  dan  $90^\circ$ . Semakin besar sudut putarannya akan lebih besar dan menghasilkan tegangan yang lebih besar. Kenaikkan tegangan berbanding lurus dengan kecepatan angin, semakin besar kecepatan angin maka semakin besar tegangan yang dihasilkan.

## Saran

Berdasarkan perancangan, pembuatan dan pengujian *Low Cost Wind Turbine* Untuk Pengisian Baterai dan melakukan analisis data pada penelitian ini maka penulis memiliki saran yaitu :

1. Sebaiknya perhatikan penempatan wind turbine pada saat dikapal, jangan sampai mengganggu peralatan navigasi seperti antena radar atau yang lainnya.
2. Dapat diperhatikan untuk pemilihan dinamo dengan spesifikasi lebih tinggi untuk menghasilkan tegangan dan arus yang sesuai dengan desain awal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andoh, P. Y., Charles, K. K. S., Godwin, K. A., & Michael, N. S. (2021). Fabrication and testing of a low-cost wind turbine blade using bamboo reinforced recycled plastic. *Journal of Applied Engineering and Technological Science*, 2(2), 125-138.
- Arifin, M. D., Fanny, O., & Arif, P. (2014). Perancangan dan pembuatan prototype turbin Savonius dalam rangka pemanfaatan renewable energy (angin) untuk sistem penerangan pada kapal. *Inovasi Teknologi Kelautan*, 14-20.
- Arifin, A. Z. (2022). Rancang bangun sistem kesusakan baterai untuk wind turbine. Skripsi. Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.
- Bentara, R. S., Berlian, A. A., & Kiryanto. (2018). Analisa teknis dan ekonomis penggunaan wind turbine untuk konversi energi pada kapal ikan yang menggunakan sistem pendingin refrigerated sea water. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 6(1), 74-82.
- Bockmann, E., & Sverre, S. (2011). Wind turbine propulsion of ships. *Second International Symposium on Marine Propulsors*.
- Febrianto, R., Noer, S., & Osea, Z. (2018). Rancang bangun boost converter untuk proses discharging baterai pada penerangan jalan umum tenaga surya (Pjuts). *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Elektro Terapan*, 2(1), 159-163.
- Febrieliyanti, Maksi, G., & Zulkarnain. (2015). Konversi energi angin menjadi energi listrik dalam skala laboratorium. *JOM FMIPA (Online)*, 2(1). Diakses pada tanggal 31 Mei 2023.
- Fuad, A. (2015). Kajian penambahan manfaat energi kinetik kipas angin rumahan. *Inosains*, 10(2), 80-87.
- Hadimuljono, M. B., Paulus, K., & Wartono, R. (2019). *Geothermal Economic Handbook in Indonesia*. Yogyakarta: ANDI.
- Hidayat, M. N. (2020). Rancang bangun pembangkit listrik tenaga angin menggunakan turbin ventilator sebagai energi alternatif pada Masjid Taqwa di Desa Sei Litur Kabupaten Langkat. Skripsi Sarjana pada FT UMSU Medan.
- Rahman, D. F. (2022). Hampir 87% listrik RI berasal dari bahan bakar fosil pada 2020. Databoks. Available at: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/04/12/hampir-87-listrik-ri-berasal-dari-bahan-bakar-fosil-pada-2020> (Accessed: 19 March 2023).
- Riyadi, M. S. (2023). Pengaruh sudut sudu terhadap putaran turbin angin Savonius tipe-L. *Jurnal Simetris*, 17(1), 6-8.
- Polivinil klorida. (n.d.). Wikipedia. Retrieved from [https://id.m.wikipedia.org/wiki/Polivinil\\_klorida](https://id.m.wikipedia.org/wiki/Polivinil_klorida)