



# APLIKASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU MENGGUNAKAN *SMART AUTO CHANGE* DAN *MONITORING INTERNET OF THINGS* BERBASIS *ARDUINO*

Amri Darsono Sigalingging<sup>a\*</sup>, Rivaldi Ardian Hutabarat<sup>a</sup>, Husin Ibrahim<sup>a</sup>, M. Idris<sup>b</sup>, Ali Janifar<sup>c</sup>, Nural Fajri<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

<sup>b</sup>Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Medan Area, Jl. Kolam No. 1 Medan Estate, Kec. Percut Sei Tuan, Kab. Deli Serdang, Medan, Sumatera Utara, 20223, Indonesia

<sup>c</sup>Program Studi Teknologi Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Jalan Banda Aceh - Medan Km. 280 Buketrata Lhokseumawe, 20223, Aceh, Indonesia

<sup>d</sup>Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Jambi, Jl. Lingkar Barat II Lr. Veteran RT. 04 Kel. Bagan Pete, Kec. Alam Barajo, Kota Jambi, Jambi, 36125, Indonesia

\*Corresponding authors at: [amrisigalingging@students.polmed.ac.id](mailto:amrisigalingging@students.polmed.ac.id) (Sigalingging, A.D.) Tel.: +62-822-386-96588

## INFO ARTIKEL

### Riwayat artikel:

Diajukan pada 30 April 2023

Direvisi pada 01 Juni 2023

Disetujui pada 05 Juli 2023

Tersedia daring pada 15 Agustus 2023

### Kata kunci:

Angin, Energi Terbarukan, Pembangkit, Baterai

### Keywords:

Wind, Renewable Energy, Power Generation, Battery

## ABSTRAK

Tenaga angin adalah sumber energi alternatif yang mempunyai potensi besar untuk dimanfaatkan dan tenaga angin merupakan energi bersih yang tidak merusak lingkungan. Tenaga angin di Indonesia memiliki jumlah yang cukup besar namun masih kurang dikembangkan. Turbin angin yang menggunakan turbin angin horizontal akan menghasilkan energi listrik. Keuntungan dari turbin angin sumbu horizontal adalah lebih efisien daripada sumbu vertikal karena sudu selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin. Tujuan dari laporan akhir ini adalah untuk merancang turbin angin dan mengetahui kinerja turbin angin yang diproduksi. Desain sebuah turbin angin sebagai pembangkit energi listrik yang disimpan dalam baterai untuk menyalakan suatu beban. Hasil pengujian turbin angin yang dilakukan pada pengukuran kecepatan angin maksimal sebesar 6 m/s yang dengan tegangan pengisian sebesar 17,4 volt, arus sebesar 0,2 A, dan daya yang dihasilkan sebesar 3,48 watt. Adapun kecepatan angin minimal dari turbin angin adalah 3,5 m/s, tegangan pengisian 1,61 volt, arus 0,2 A, dan pembangkit listrik 0,364 watt.

## ABSTRACT

Wind power is a renewable energy source that does not harm the environment. Wind power in Indonesia is abundant but underdeveloped. Wind turbines that use horizontal wind turbines will generate electricity. A horizontal axis wind turbine is more efficient than a vertical axis wind turbine because the blades always move perpendicular to the wind direction. The goal of this final report is to design a wind turbine and determine the performance of the manufactured wind turbine. Design a wind turbine as a generator of electrical energy stored in a battery to power a load. The results of the wind turbine test were carried out on the maximum wind speed measurement of 6 m/s with a charging voltage of 17.4 volts, a current of 0.2 A, and a generated power of 3.48 watts. The minimum wind speed of the wind turbine is 3.5 m/s, the charging voltage is 1.61 volts, the current is 0.2 A, and the power generation is 0.364 watts.

## 1. PENGANTAR

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk menghasilkan tenaga listrik. Turbin angin dibuat untuk memenuhi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi. Turbin angin banyak dibangun di Denmark, Belanda, dan Negara- Negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan Windmill (Nobertus Dodi dan Karnowo, 2020). Potensi angin yang tersedia sepanjang tahun pada beberapa daerah di Indonesia menjadi peluang untuk dikonversi menjadi listrik. Beberapa potensi kecepatan angin rata-rata perbulannya di Indonesia yaitu 4-5 m/s dimana Provinsi Aceh, kecepatan angin rata-rata paling dominan setiap bulannya yaitu 1.6 – 6.5 m/s (Teuku Multazam dan Andi Mulkan, 2019). Indonesia juga merupakan wilayah maritim yang menerima radiasi surya dalam jumlah melimpah karena Indonesia termasuk daerah dalam kawasan tropis, maka lapisan udara atas memiliki peranan penting dalam dinamika atmosfer udara atas untuk membangun dan menghasilkan cuaca yang kompleks (Aurel Vivaldi Noang dkk., 2021).

Kebutuhan energi listrik pada daerah- terpencil untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat perlu menjadi perhatian dari perguruan tinggi. Aplikasi ilmu terapan di pendidikan vokasi dibidang energi alternatif sangat mendukung infrastruktur dan biaya yang efisien dan diterapkan pada khalayak masyarakat. Oleh karena itu perlu diupayakan suatu inovasi untuk membangun pembangkitan energi listrik dari sumber energi terbarukan sebagai jalan terbaik agar kebutuhan energi listrik masyarakat terpencil dapat dipenuhi. Konsumsi energi sebanyak 4,3 persen setiap tahun memberikan peluang untuk mengkonversikan energi alternatif berasal dari energi angin dan energi surya menjadi pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) (Wildan Hamdani dkk., 2021). Potensi energi ini dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik di daerah tersebut, khususnya untuk pulau-pulau terpencil yang belum teraliri listrik dan belum terjangkau oleh jaringan listrik PT. PLN (Persero). Dalam penelitian ini diusulkan pembuatan PLTB dan PLTS menggunakan sistem *internet of things* (IoT) yang ditempatkan di bagan dengan tujuan untuk menekan biaya operasional dengan memanfaatkan angin yang tersedia secara terus-menerus di alam. Pada penelitian ini menggunakan internet sebagai akses sistem kontrol dan monitoring yang dapat dilihat secara *real time* melalui *website* yang diakses dengan *web browser*, sehingga pada alat ini diharapkan mampu mengatasi permasalahan penenerangan di bagan pada malam hari. Sistem IoT bertujuan untuk memonitoring arus yang melewati setiap terminal (jalur) yang diinginkan, ketika arus pada rangkaian diketahui dan tegangan input diketahui juga nilai daya nyata akan dapat dihitung langsung pada sistem yang telah dibuat.

### 1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) adalah suatu pembangkit listrik yang memanfaatkan energi angin sebagai sumber energi untuk membangkitkan energi listrik. Pembangkit ini dapat mengubah energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Sistem pembangkitan listrik memanfaatkan angin sebagai sumber energi merupakan sistem alternatif yang sangat berkembang cepat, mengingat angin merupakan salah satu energi alternatif yang jumlahnya tidak terbatas di alam (Ruzita Sumiati dan Aidil Zamri, 2013). Prinsip dasar kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada sudu (*blade*), lalu putaran turbin digunakan untuk memutar generator yang akhirnya akan menghasilkan listrik (Wildan Hamdani dkk., 2021). Kincir angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik. Kincir angin tipe propeler dari kipas angin yang tidak terpakai ditunjukkan pada gambar 1. Hal ini dilakukan karena kincir angin tersebut mudah didapatkan, untuk menekan harga pembuatan kincir angin secara manual dan memanfaatkan barang bekas yang ada di sekitar. Jumlah sudu pada kincir angin sebanyak 3 sudu dengan diameter keseluruhan sepanjang 76 cm.



Gambar 1: Kincir angin

Turbin angin berdasarkan prinsip aerodinamik pada rotor yaitu apakah rotor turbin angin mengekstrak energi angin memanfaatkan gaya *drag* dari aliran udara yang melalui sudu rotor atau rotor angin mengekstrak energi angin atau dengan memanfaatkan gaya *lift* yang dihasilkan oleh aliran udara melalui profil aerodinamik sudu. Sesuai arah sumbu rotasi rotor, turbin angin dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu (Sahid dan Slamet Priyoatmojo, 2019):

#### a. Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (TASV) merupakan turbin angin yang sumbu putarnya tegak lurus dengan arah aliran angin atau permukaan tanah. Turbin ini yaitu memiliki torsi tinggi sehingga dapat berputar pada kecepatan angin rendah, sesuai dioperasikan pada daerah yang berkecepatan rendah-sedang. Rotor yang digunakan pada turbin angin sumbu vertikal dibagi menjadi dua bagian yaitu: savonius rotor yaitu turbin ini memiliki rotor dengan bentuk dasar setengah silinder. *Darrieus* rotor yaitu turbin ini memiliki efisiensi terbaik serta mampu menghasilkan torsi cukup besar pada putaran dan kecepatan angin yang tinggi. Turbin angin *darrieus* mengaplikasikan *blade* dengan bentuk dasar airfoil standar *National Advisory Committee for Aeronautics* (NACA). Prinsip kerja turbin angin *darrieus* dengan memanfaatkan gaya lift.

#### b. Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

Turbin angin sumbu horizontal merupakan turbin angin yang mempunyai sumbu putar yang terletak sejajar dengan permukaan tanah dan sumbu putar rotor yang searah dengan arah angin. Putaran rotor terjadi karena adanya gaya lift dimana rotor ini sesuai digunakan untuk tipe angin sedang dan tinggi dan banyak digunakan sebagai pembangkit listrik skala besar.

### 1.2 Generator

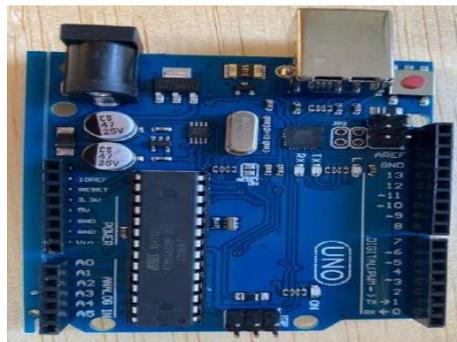
Generator adalah alat yang mengubah energi mekanik dinamis menjadi energi listrik beraruskan *direct current* (DC/ arus searah) melalui proses induksi yang terjadi pada kawat yang melingkari dua kutub (utara dan selatan). Perpotongan garis-garis gaya di dalamnya mengakibatkan induksi magnet. Arus yang dihasilkan berupa bolak-balik yang kemudian diubah menjadi arus searah dengan dua sekat lempengan logam setengah lingkaran (komutator). Besar gaya gerak listrik induksi tergantung pada garis gaya yang dipotong tiap sekon dan spesifikasi generator yang digunakan adalah denso 162500-4894 dengan tegangan DC sebesar 12V 9D seperti gambar 2 (Yusuf Ismail Nakhod dan Choirul Saleh. (2017).



Gambar 2: Generator DC

### 1.3 Arduino Uno

Arduino Uno adalah *board* mikrokontroler berbasis ATmega-328 memiliki 14 pin input dari output digital dimana 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output pulse width modulation (PWM) dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi universal serial bus (USB), *jack power*, *in-circuit serial programming (ICSP) header*, dan tombol reset seperti pada gambar 3. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan board arduino uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan *alternating current (AC)* yang ke adaptor DC atau baterai untuk menjalankannya. Setiap 14 pin digital pada arduino uno dapat digunakan sebagai input dan output, menggunakan fungsi *pin mode*, *digital write*, dan *digital read*. Fungsi-fungsi tersebut beroperasi di tegangan 5 volt, Setiap pin dapat memberikan atau menerima suatu arus maksimum 40 mA dan mempunyai sebuah resistor *pull-up* (terputus secara default) 20-50 kOhm (Apriani, dkk., 2021; Winda Istiana dan Ryan Puji Cahyono, 2022; Robby Yuli Endra dkk, 2019).



Gambar 3: Rangkaian Arduino Uno

## 2. METODE

### 2.1 Alat, Bahan, dan Komponen

Metode penelitian yang direncanakan terdiri dari beberapa tahapan yang meliputi pengumpulan data, simulasi variasi jumlah sudu turbin rancang bangun, dan pengujian material. Data yang dikumpulkan meliputi, variasi jumlah sudu turbin pada sumbu *horizontal axis wind* turbin dan karakteristik material sudu turbin. Data-data yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai acuan pada tahapan simulasi dan pengujian material turbin angin. Komponen-komponen pada Sistem PLTB menggunakan beberapa peralatan yaitu:

- Gergaji Besi
- Solder
- Penyedot Timah
- Tang Potong
- Tang Cucut
- Obeng Plus
- Obeng Minus
- Multimeter Digital

- i. *Anemometer*
- j. Gunting
- k. Bor

Bahan yang digunakan yaitu:

- a. Pipa ukuran 3/4"
- b. Sambungan Pipa L 3/4"
- c. Sambungan Pipa T 3/4"
- d. Timah
- e. Tripleks
- f. PiloX Warna Silver
- g. Baut
- h. Lem Pipa

Komponen yang digunakan yaitu:

- a. Kincir angin
- b. *Generator*
- c. Kabel Merah Serabut
- d. Kabel Hitam Serabut
- e. Kabel Pelangi
- f. *Relay*
- g. *Regulator*
- h. *Charger control*
- i. Baterai
- j. Trimpot
- k. *Liquid-crystal display* (LCD)

## 2.2 Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Ruangan terbuka digunakan untuk sistem pembangkit listrik tenaga dan membuat sambungan ke adaptor pada sistem menggunakan IoT. Semua komponen menyala dan kincir angin akan menyerap energi angin alami ataupun buatan melalui kipas angin atau kompresor sesuai kebutuhan. Energi mekanik yang didapat dari kincir angin dan akan dikonversikan menjadi energi listrik, tegangan yang didapatkan pertama kali akan masuk ke *solar charge controller* (SCC) kemudian tegangan masuk ke baterai. Tegangan dari baterai akan masuk ke arduino melalui regulator tegangan, regulator tegangan disini berfungsi untuk menurunkan nilai tegangan yang akan diterima arduino dari baterai, kemudian nilai tegangan akan dibaca oleh arduino. Sensor tegangan akan mendeteksi tegangan keluaran yang dapat dilihat pada LCD, gunakan juga multimeter untuk melihat kesamaan pengukuran tegangan. Relay mengatur penggunaan PLTH apakah hanya menggunakan PLTS atau PLTB ataupun memakai kedua pembangkit listrik tersebut secara bersamaan.

## 2.3 Data Pengujian

Pengujian material turbin angin berbahan fiber bertujuan untuk melihat performa *generator permanent magnet* (PMG) yang dihasilkan dari putaran baling-baling angin ketika hembusan angin terjadi. Variasi turbin yang memiliki *coefisien power* (CP) tertinggi yaitu turbin angin tiga *blade* dengan nilai yang dimiliki adalah 50 persen. Model turbin menggunakan material fiber. Pengujian pada pembangkit listrik tenaga bayu memerlukan data kecepatan angin (m/s), tegangan alat ukur dan tegangan sensor (volt), dan arus (A).

## 2.4 Sistem IoT

Perangkat utama yang digunakan terdiri atas subsistem akuisisi data, subsistem kendali, dan subsistem antarmuka. Subsistem tersebut terpisah masing-masing berdasarkan letaknya yaitu subsistem akuisisi data digunakan untuk pembacaan sensor yang digunakan, subsistem kendali digunakan untuk mengontrol dan melakukan pembacaan data dan subsistem antarmuka digunakan untuk menampilkan data yang telah dibaca melalui subsistem kontrol. Sistem alat dan aplikasi IoT digunakan untuk menentukan komponen yang dibutuhkan serta skema pemasangan tiap komponen. Alat ini dapat dilakukan dengan melakukan pengujian pengiriman data ke *database* kemudian mengirimkan datanya dan menyimpan menggunakan *database* aplikasi IoT. Setelah data yang diinginkan dapat dikirimkan ke *database* maka data tersebut dapat dikonversi ke daya dan energi dan data yang telah disimpan di *database* dapat diambil dan ditampilkan pada aplikasi IoT.

# 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

## 3.1 Data Hasil Pengujian Alat

Pengujian ini dilakukan kalibrasi terlebih dahulu untuk melakukan proses pengecekan alat ukur agar mendapatkan akurasi dengan membandingkan standar alat ukur. Pada pengujian tegangan ini dilakukan kalibrasi dengan membandingkan hasil dari pengujian terhadap hasil pengukuran dengan menggunakan multimeter. Kalibrasi yang dilakukan pada sensor tegangan ini diperoleh dari percobaan yang

nantinya hasilnya dibandingkan dengan pembacaan pada multimeter. Pengujian sensor arus memvariasikan beban listrik sehingga diperoleh arus pada rentang 0 – 2 A. Pengujian sensor arus dilakukan dengan pengukuran arus dengan multimeter digital. Pengujian aktuator ini yaitu menghitung *delay* waktu merespon kontrol dari aplikasi, kontrol dari aplikasi akan diterima terlebih dahulu oleh *server* kemudian akan dikirimkan pada *client*. Aktuator yang digunakan adalah. Aktuator yang digunakan adalah *relay* yang digunakan sebagai saklar elektrik pada setiap *client*. Hasil dari pengujian ini didapatkan nilai *delay* pada *server* memiliki nilai yang sangat kecil, tetapi nilai *delay* pada *client* memiliki nilai lebih besar, hal ini terjadi karena komunikasi antara *server* dan *client* yang membutuhkan waktu sekitar perdetik setiap pengiriman data dan pada saat pengiriman data tidak dapat terjadi secara bersamaan. Semakin banyak *client* yang digunakan maka nilai *delay* juga akan semakin besar. Data pengujian pembangkit listrik tenaga bayu menggunakan *smart auto change* dan *monitoring* IoT berbasis *aurdino* terdapat pada tabel 1.

Tabel 1: Data Pengujian Alat

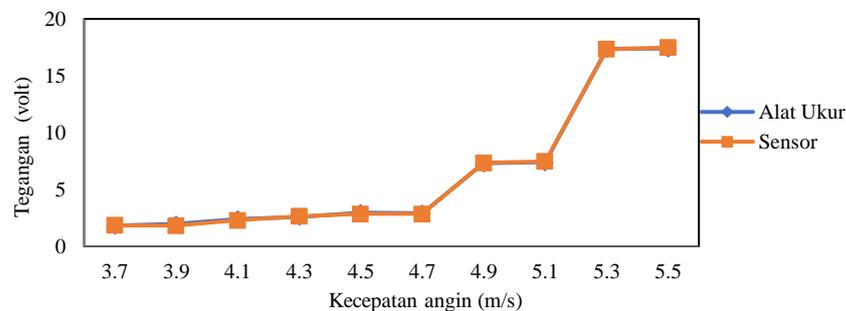
Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Alat Ukur (Volt)	Tegangan Sensor (Volt)	Arus (Ampere)
3,70	1,82	1,85	0,20
3,90	1,97	1,83	0,20
4,10	2,40	2,30	0,20
4,30	2,60	2,65	0,20
4,50	2,96	2,84	0,20
4,70	2,93	2,85	0,20
4,90	7,30	7,35	0,20
5,10	7,40	7,47	0,20
5,30	17,36	17,33	0,20
5,50	17,40	17,48	0,20

### 3.2 Pembahasan

#### 3.2.1 Hubungan Kecepatan Angin dengan Tegangan

Kecepatan angin berbanding lurus dengan tegangan yang dihasilkan dimana semakin tinggi kecepatan angin yang diberikan maka semakin tinggi tegangan turbin yang dihasilkan serta semakin banyak energi yang diberikan angin ke energi turbin. Turbin tegangan meningkat dan ini menunjukkan bahwa tegangan yang dibangkitkan oleh kincir angin dimulai saat kecepatan angin minimum yaitu 3.7 m/s dengan tegangan pada alat ukur sebesar 1.82 volt dan tegangan pada sensor 1.85 volt.

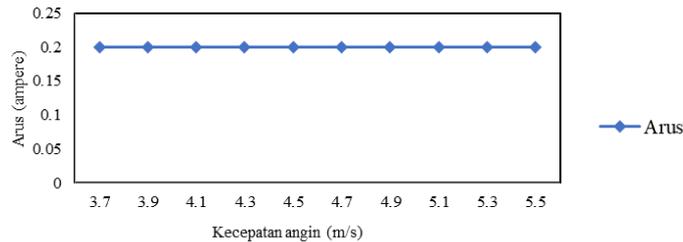
Kecepatan angin maksimal yaitu 5.5 m/s dengan nilai tegangan pada alat ukur sebesar 17.37 volt dan tegangan pada sensor 17.48 volt. Pada kecepatan angin 3.5 - 3.7 m/s tegangan yang didapatkan lebih tinggi 2.5 kali lipat dari kecepatan angin 3.3 m/s dikarenakan putarannya stabil dan generator bekerja maksimal. Hubungan antara kecepatan angin dengan tegangan yang dihasilkan oleh turbin ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4: Hubungan kecepatan angin dengan tegangan

#### 3.2.2 Hubungan Kecepatan Angin dengan Arus

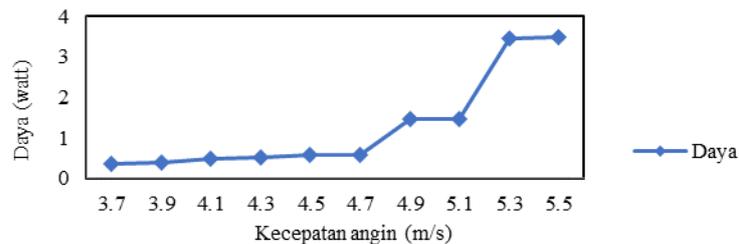
Nilai arus yang sama pada setiap pengujian didapatkan karena beban yang dipakai adalah ketika pengisian baterai dilakukan. Hubungan antara kecepatan angin dengan Arus yang dihasilkan oleh turbin ditunjukkan pada gambar 5.



**Gambar 5:** Hubungan kecepatan angin dengan arus

### 3.2.3 Hubungan Kecepatan Angin dengan Daya

Kecepatan angin berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan oleh turbin. Daya terkecil yang dihasilkan oleh turbin yaitu 0,364 watt pada kecepatan angin 3,7 m/s; daya terbesarnya adalah 3,48 watt pada kecepatan angin 5,5 m/s; dan daya rata – ratanya adalah 1,2828 watt. Daya yang dihasilkan bisa lebih besar dikarenakan kecepatan angin pada kipas angin belum mampu menghasilkan putaran yang maksimal pada generator. Hubungan antara kecepatan angin dengan daya yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 6.



**Gambar 6:** Hubungan kecepatan angin dengan daya

Jenis generator yang dipakai yaitu generator dinamo *drill* dan *permanent magnet generator* (PMG). Sistem IoT menggunakan 2 pembangkit secara *hybrid* dan sistem *smart autochange* dan *monitoring* IoT digunakan pada penelitian serta perbedaan jumlah dan sudut sudu yang dipakai berbeda dengan Sahid dan Slamet Priyoatmojo, 2019 yaitu menggunakan turbin angin poros horizontal tiga sudu flat berlapis tiga dengan variasi sudut dan posisi sudu sedangkan Teuku Multazam dan Andi Mulkan, 2019 menggunakan turbin angin sumbu horizontal pada kecepatan angin rendah untuk meningkatkan performa permanent magnet generator. Objek penelitian adalah turbin angin tipe horizontal dengan menggunakan variasi jarak dan kecepatan dengan alat bantu kipas angin dan salah satu beban yang dipakai sama-sama menggunakan baterai. Adapun perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian ini adalah bahan material yang dipakai seperti plastik, kayu, dan *fiberglass*. Sistem monitoring pada pembangkit listrik tenaga bayu dihubungkan ke perangkat handphone dan dapat berfungsi dengan baik untuk melihat semua data yang diperlukan dalam sistem IoT. Hal ini juga dilakukan oleh penelitian lainnya yang menggunakan *website* dimana data yang diperoleh dari pembangkit dapat dimonitoring secara *realtime* dan tersimpan di *database* (Rendy Afreza, dkk, 2022).

## 4. KESIMPULAN

Aplikasi *smart auto change* dan *monitoring* IoT pada pembangkit listrik tenaga bayu PLTB dengan berbasis arduino memiliki komponen-komponen yaitu kincir angin, generator, kabel, relay, *charger control*, baterai, trimpot, LCD, regulator, dan arduino. Energi angin mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada kincir angin dan memutar generator yang akhirnya akan menghasilkan listrik. Tegangan yang dibangkitkan akan masuk ke *charge controller* yang berfungsi mengontrol pengisian baterai agar tidak terjadi *overcharging* dan kemudian tegangan masuk mengisi baterai. Tegangan dari baterai akan masuk ke arduino melalui regulator tegangan yang berfungsi untuk menurunkan tegangan yang akan diterima arduino dari baterai, kemudian nilai tegangan akan dibaca oleh arduino, sensor tegangan akan mendeteksi tegangan keluaran yang akan ditampilkan pada LCD, multimeter digunakan untuk melihat akurasi pengukuran tegangan yang dideteksi oleh sensor tegangan. Arduino akan memerintahkan *relay* untuk memutuskan pembangkit mana yang akan dipakai untuk mengisi baterai berdasarkan tegangan yang lebih besar yang dihasilkan oleh salah satu pembangkit. Jumlah sumbu turbin angin yang memiliki efisiensi tinggi yaitu tiga bilah dengan koefisien power (CP) lebih dari 50 persen. Material turbin angin berbahan fiber dilihat berdasarkan putaran turbin yang optimal dan putaran turbin angin sangat dipengaruhi oleh masa jenis material yang digunakan. Pembangkit listrik tenaga angin yang telah dibuat dalam pengukuran diperoleh kecepatan angin tertinggi mencapai 5,5 m/s menghasilkan tegangan pengisian sebesar 17,4 volt, arus sebesar 0,2 A dan daya yang dihasilkan sebesar 3,48 Watt. Sedangkan pada saat kecepatan angin terendah sebesar 3,5 m/s menghasilkan tegangan pengisian sebesar 1,61 volt, arus sebesar 0,2 A daya yang dihasilkan sebesar 0,364 Watt.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan rasa syukur karena berkat dan rahmat Yang Maha Kuasa penulis dapat menyelesaikan artikel ini, serta terima kasih memberikan kesempatan berkolaborasi dengan Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area, Jurusan

Teknik Mesin Program Studi Teknologi Mesin Jurusan Teknik Mesin dan Fakultas Teknik Mesin Program Studi Teknik Mesin Universitas Bangka Belitung dalam menyelesaikan artikel ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afreza, R., Ummihani, A., Sulisty, E., & Dwisaputra, I. (2022). Sistem Kontrol Dan Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Angin Untuk Penerangan Bagan Berbasis IoT. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan 1*, 168-175.
- Dodi, N., dan Karnowo. (2020). Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Darrieus-H *Sainteknologi: Jurnal Sain dan Teknologi 18*, 44-60.
- Endra, R.Y., Cucus, A., Afandi, F.N., Syahputra, M.B. 2019. Model Smart Room Dengan Menggunakan Mikrokontroler Arduino Untuk Efisiensi Sumber Daya. *Jurnal Sistem Informasi dan Telematika 10*, 1-9.
- Hamdani, W., Yani, A., & Hendrawan T. (2021). Rancang Bangun Turbin Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Daerah Pesisir Pantai). *Jurnal Teknik JAGO 1*, 38-45.
- Istiana, W., & Cahyono, R.P. (2022). Perancangan Sistem Monitoring dan Kontrol Daya Berbasis IoT. *Portaldata.org 2*, 1-14.
- Multazam, T., & Mulkan, A. (2019). Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Horizontal Pada Kecepatan Angin Rendah Untuk Meningkatkan Performa Permanent Magnet Generator. *Serambi Engineering 4*, 616-624.
- Nakhod, Y.I., & Saleh, C. (2017). Pembangkit Listrik Tenaga Angin Sumbu Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga Di Daerah Pesisir Pantai. *INDUSTRI INOVATIF 7*, 20-28.
- Noang, A.V., Putra, Y.S., & Adriat.R. (2021). Analisis Karakteristik Udara Atas Wilayah Bandar Udara Internasional Supadio Berdasarkan Data Radiosonde. *Prisma Fisika 9*, 48-54.
- Sahid & Priyoatmojo, S. (2019). Rancang Bangun Turbin Angin Poros Horizontal Tiga Sudu Flat Berlapis Tiga Dengan Variasi Sudut Dan Posisi Sudu. *EKSERGI: Jurnal Teknik Energi 15*, 14-19.
- Sumiati, R., & Zamri A. 2013. Rancang Bangun Miniatur Turbin Angin Pembangkit Listrik Untuk Media Pembelajaran. *Jurnal Teknik Mesin 3*, 1–8.