

Sistem *Monitoring Horizontal Axial Wind Turbine* Berbasis *Internet Of Things*

Munir Azhari^{1*}, Dean Corio²

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Sumatera

Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365

*Corresponding Author :munir.13117073@student.itera.ac.id, dean.corio@el.itera.ac.id

Abstrak— Tenaga angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik dan rata-rata di implementasikan pada daerah dengan sumber potensi angin yang besar. Proses *monitoring* dari pembangkit listrik tersebut biasanya dilakukan oleh operator atau pengguna dengan mencatat arus, tegangan, daya, dan kecepatan angin yang dihasilkan oleh turbin angin secara manual atau konvensional. Proses *monitoring* secara langsung ini memerlukan usaha yang lebih besar dan memakan waktu cukup lama serta data yang diperoleh kurang akurat. Oleh karena itu dibutuhkan sistem *monitoring* yang mampu melakukan pemantauan jarak jauh serta menerapkan konsep *Internet of Things* (IoT) agar nilai arus, tegangan, daya, dan kecepatan angin dapat diperoleh pengguna secara *realtime* melalui purwarupa *website* yang dirancang. Beberapa pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pengujian akurasi pembacaan sensor dengan mencari nilai galat, pengiriman data dengan mencari nilai *delay*, dan pengalaman pengguna saat menggunakan *website* dengan metode *User Experience Questions* (UEQ). Diperoleh hasil bahwa sistem *monitoring* sudah mampu memberikan informasi kepada pengguna melalui *website* dengan respon waktu rata-rata 12,60 detik, galat pada pembacaan arus sebesar 3,51 % dan tegangan sebesar 0,22 %. Kemudian untuk skor UEQ *website* memperoleh nilai diatas rata-rata pada aspek kejelasan, daya tarik, kebaruan, efisiensi, ketepatan dan memperoleh nilai baik pada aspek stimulasi.

Kata Kunci: *monitoring, website, arus, tegangan, galat*

Abstract— Wind power is one of the renewable energy sources used to generate electrical energy and is generally implemented in areas with large wind potential sources. The monitoring process of the power plant is usually carried out by the operator or user by recording the current, voltage, power, and wind speed produced by the wind turbine manually or conventionally. This direct monitoring process requires greater effort and takes a long time and the data obtained is less accurate. Therefore, a monitoring system is needed that is capable of remote monitoring and applies the concept of the Internet of Things (IoT) so that the current, voltage, power, and wind speed values can be obtained by users in real time through a prototype website designed. Some of the tests carried out in this study were testing the accuracy of sensor readings by looking for error values, sending data by looking for delay values, and user experience when using the website using the User Experience Questions (UEQ) method. The results showed that the monitoring system was able to provide information to users through the website with an average response time of 12.60 seconds, error in current readings of 3.51% and voltage of 0.22%. Then for the UEQ score, the website obtained a score above the average on the aspects of clarity, attractiveness, novelty, efficiency, accuracy and got a good score on the stimulation aspect.

Keywords: *monitoring, website, current, voltage, error*

© 2022 Elektron Jurnal Ilmiah

I. PENDAHULUAN

Revolusi Industri 4.0 menuntut untuk adanya pemanfaatan perkembangan teknologi dan perubahan besar dalam menggunakan sebuah peralatan yang multifungsi untuk menghemat tempat, waktu, serta biaya. Salah satu pemanfaatan perkembangan teknologi sekarang yaitu dengan menggunakan internet sebagai media pendukung dalam penyelesaian berbagai permasalahan yang ada, termasuk pada sistem *monitoring* suatu alat [1]. Sistem *monitoring* merupakan salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Hal ini dibutuhkan untuk mengetahui zona operasi generator agar tidak terjadi operasi yang melampaui batas kemampuan pembangkitan dan memproteksi komponen-komponen agar tidak menimbulkan kerusakan pada generator tersebut. Proses pemantauan dan pengukuran parameter listrik yang dihasilkan umum-

nya dilakukan dengan cara manual menggunakan sebuah multimeter analog ataupun digital dan dilakukan pada lokasi alat tersebut berada. Sehingga dirasa kurang efisien karena membutuhkan waktu yang cukup lama serta data tidak dapat diperoleh setiap saat. Pemantauan tersebut lambat laun akan mulai bergeser dengan berkembangnya aspek pengiriman dan penerimaan data pada suatu perangkat menggunakan konsep *Internet of Things* (IoT), yang mana saat ini masih sangat minim dimanfaatkan untuk sistem *monitoring* khususnya pada jenis pembangkit generator turbin angin tipe aksial atau *Horizontal Axial Wind Turbine* (HAWT).

Beberapa penelitian terkait sistem *monitoring* sebelumnya yang sudah banyak dilakukan, seperti perkembangan yang mulanya sistem *monitoring* hanya bisa memantau melalui LCD, *localhost* atau *webserver*, transmisi data menggunakan GSM Shield, hingga

perancangan sistem *monitoring* berbasis IoT. Akhir-akhir ini banyak dikembangkan melalui antarmuka aplikasi atau *website* yang dirancang manual atau menggunakan bantuan pihak ketiga seperti *thingspeak*, *ubidots*, atau *blynk* [2]. Berdasarkan penelitian dengan judul *Monitoring* Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Mikrokontroler Arduino berbasis GUI Matlab dan Simulasi Alat Pemantau Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Mikrokontroler Melalui Monitor PC. Sistem yang dirancang sudah mampu menampilkan data angka dan grafik secara *realtime* dengan respon waktu pengiriman data 5 menit dan parameter yang diukur adalah kecepatan angin, arus, dan tegangan yang ditampilkan ke pengguna melalui *web server* [3]–[5].

Penelitian selanjutnya yaitu Analisa dan Desain Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Potensi Tenaga Matahari dengan menggunakan komponen mikrokontroler Arduino Mega 2560, *data logger shield*, LCD, dan GSM/GPRS Shield sim900 mencakup parameter yang diukur yaitu arus dan tegangan dimana *data logger shield* sudah mampu melakukan pencatatan berdasarkan waktu pengambilan data yang kemudian disimpan ke SD card dan ditampilkan pada *website*. Namun, selama proses pengiriman data ke *database* pada penelitian ini tidak dapat terkirim secara keseluruhan karena dipengaruhi oleh jaringan GSM yang tidak stabil [6]–[8]. Kemudian pada penelitian Perancangan Sistem Monitoring Prototipe Pembangkit Hibrid PLTS dengan PLTB Berbasis *Internet Of Things* (IoT) dengan komponen Arduino Mega 2560, modul Bluetooth HC-04 dan modul Wi-Fi ESP8266 mencakup parameter pengukuran kecepatan angin dan kecepatan putaran turbin berbasis *smartphone* android dimana data ditampilkan ke pengguna melalui *thingspeak* [9], [10]. Hasil pengujian tersebut menunjukkan sistem *monitoring* turbin angin sudah bekerja dengan baik. Namun, pengiriman data sensor terbatas pada jarak yang bisa diakses oleh modul Bluetooth dan respon waktu pengiriman data membutuhkan waktu 20-60 detik.

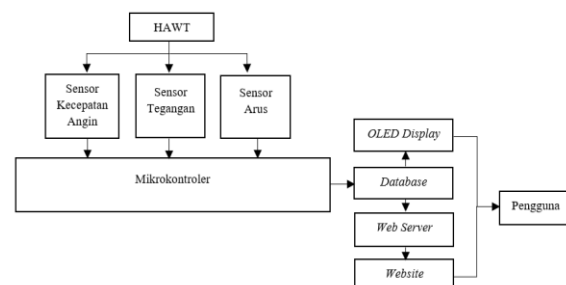
Berdasarkan literatur diatas, beberapa sistem *monitoring* yang dirancang masih menggunakan *data logger shield*, dan GSM/GPRS Shield sim900 yang mana dalam komunikasi pengiriman datanya masih dalam bentuk SMS serta penyimpanan yang terbatas pada besarnya kapasitas SD card dan mengharuskan penggunaannya untuk mengambil data secara langsung. Untuk mikrokontroler yang digunakan sebagai pemrosesan data sensor sebagian besar masih menggunakan Arduino UNO maupun Mega 2560 dimana dalam pengimplementasiannya masih membutuhkan komponen tambahan modul Wi-Fi untuk komunikasi data sehingga membutuhkan biaya yang lebih besar untuk perancangannya. Kemudian untuk antarmuka yang dirancang beberapa masih menggunakan aplikasi pihak ketiga seperti *thingspeak*, *blynk*, *ubidots*. Meskipun *platform* tersebut gratis untuk digunakan, fitur-fitur yang ada dibatasi dan hanya tersedia untuk proyek kecil non-komersial (82000 pesan/hari) dan tidak diizinkan

untuk skala lebih besar. Untuk mengakses fitur penuh *platform* maka pengguna harus berlangganan aplikasi tersebut [1].

Melihat beberapa kelebihan dan kekurangan berdasarkan literatur tersebut, timbul gagasan untuk memperbaiki dan mengembangkan sebuah sistem *monitoring* pada HAWT dengan menggunakan konsep IoT, yaitu konsep yang memungkinkan setiap benda dapat terintegrasi dengan jaringan internet, sehingga dapat melakukan pemantauan dimanapun dan kapanpun [11]. Penggunaan ini didasarkan karena HAWT membutuhkan sistem *monitoring* arus, tegangan, daya dan kecepatan angin dan report performansi harian untuk meminimalisir kerusakan atau gangguan dari kondisi cuaca yang buruk serta memantau kinerja generator turbin angin dengan lebih mudah, cepat, *realtime*, dan dapat diakses melalui jaringan internet menggunakan *smartphone* atau *Personal Computer* (PC). Dari sisi perancangan perangkat keras, sistem ini dirancang menggunakan sensor tegangan ZMPT101B, sensor arus ACS712, sensor anemometer, OLED Display, mikrokontroler ESP32, dan PC/*smartphone*. Pemilihan mikrokontroler yang berbeda dari referensi sebelumnya karena ESP32 memiliki keunggulan mulai dari harganya yang relatif murah, mudah diprogram, memiliki jumlah pin I/O yang memadai dan sudah tersedia modul Wi-Fi sehingga sangat mendukung untuk membuat sistem aplikasi IoT [12]. Kemudian pada perancangan perangkat lunak, sistem informasi dirancang menggunakan bahasa PHP, framework Bootstrap, dan *database* MySQL dengan antarmuka berupa *website* yang *responsive* sehingga memudahkan pengguna. *Website* dipilih sebagai acuan antarmuka karena tata letak/desain yang konsisten, kecepatan *download*, isi mudah dibaca, dan menyesuaikan spesifikasi dari berbagai perangkat keras yang digunakan.

II. METODE

A. Blok Diagram Sistem



Gambar 1. Blok diagram perancangan sistem

Perancangan sistem *monitoring* HAWT ditunjukkan pada Gambar 1, berdasarkan blok digram tersebut sistem dirancang terbagi atas dua bagian yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Adapun perangkat keras yang diterapkan yaitu mikrokontroler ESP32, sensor arus ACS712, sensor tegangan ZMPT101B, sensor anemometer, dan tampilan layar OLED. Sistem tersebut terintegrasi menggunakan papan PCB layout dengan ESP32 sebagai pengontrol utama pembacaan data sensor dan pengiriman data ke *database* yang telah

dirancang supaya menunjang sistem kerja perangkat lunak. Pada perancangan perangkat lunak meliputi pembuatan antarmuka dalam bentuk *website* menggunakan bahasa PHP, *database* MySQL, dan konfigurasi *web server* agar sistem *monitoring* yang telah dirancang terintegrasi dengan jaringan internet.

B. Perancangan Perangkat Keras



Gambar 2. Arsitektur perancangan perangkat keras

HAWT terdiri dari beberapa sistem diantaranya turbin angin sebagai sumber daya, kontroler sebagai pengatur masuknya daya ke *accumulator*, dan *monitoring* sebagai pemantau nilai hasil luaran pembangkit. Arsitektur kinerja sistem pada perancangan perangkat keras *monitoring* HAWT seperti pada Gambar 2 dimulai dari HAWT mengkonversi energi kinetik angin menjadi energi listrik sehingga menghasilkan parameter seperti arus, tegangan, daya dan kecepatan angin yang kemudian dikontrol untuk memenuhi daya pada perangkat keras sistem *monitoring*. Ketika semua perangkat dihubungkan dengan sumber tegangan hasil luaran HAWT/*power supply* PLN yang telah diturunkan menjadi 5 V menggunakan modul LM2596 DC-DC kon-verter maka secara otomatis komponen seperti mikro-kontroler sudah siap untuk memproses nilai sensor yang ada. Inisialisasi pin *input* dan *output* diperlukan pada ESP32 antara lain pin D21-D22, D32-D34, dan D35-D39 untuk menghubungkan sensor ACS712, ZMPT101B dan anemo-meter. Pada sistem *monitoring* ini, sensor anemometer digunakan untuk pembacaan kecepatan angin turbin angin dengan jangkauan 0-30 m/s, sensor ACS712 digunakan untuk membaca arus AC/DC dengan jangkauan 0-30 A, sensor ZMPT101B digunakan untuk membaca nilai tegangan dengan jangkauan 0-250 V. Ketiganya digunakan untuk pengukuran hasil luaran HAWT dan *accumulator*. Pada proses *input* data sensor, semua sensor akan membaca nilai luaran hasil HAWT dan mengirimkan sinyal analog ke mikrokontroler ESP32 agar bisa diolah menjadi sinyal digital atau terjadi proses *Analog to Digital Converter* (ADC). Semua data yang telah dikonversi akan dikirim melalui modul Wi-Fi yang ada pada ESP32. Sebelum diteruskan ke pengguna, ESP32 harus terintegrasi melalui *access point* koneksi internet 3G/4G LTE pada jaringan modem/router yang dipasang pada *terminal box* alat agar data bisa tersimpan di *web server* atau *database* sehingga informasi nilai dan grafik dapat di akses oleh pengguna melalui *website*.

Dalam proses implementasi atau pengujian, setiap pengukuran yang menggunakan alat ukur hanya dapat menghasilkan nilai perkiraan. Oleh karena itu dalam

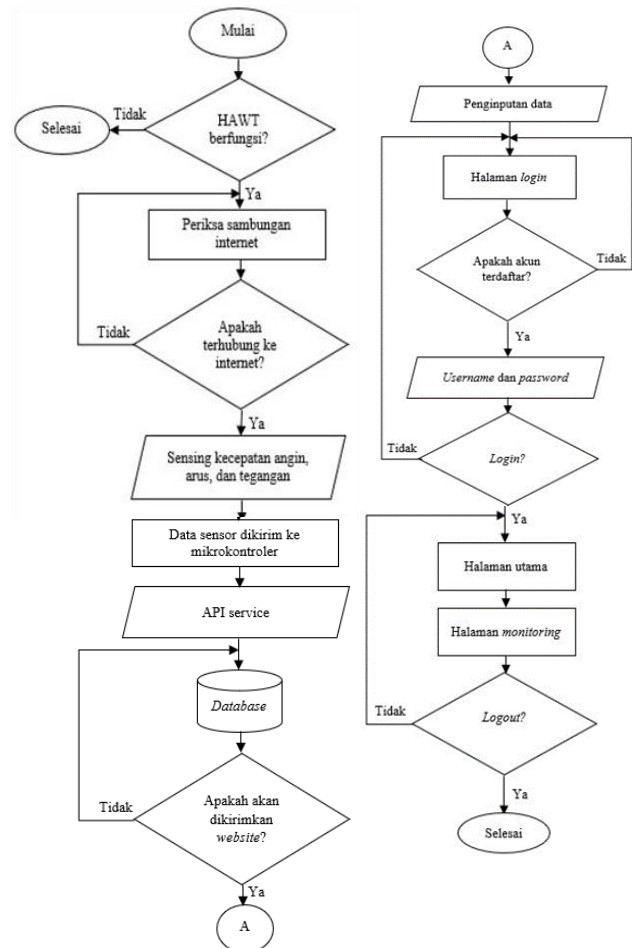
merancang sebuah alat ukur harus ada nilai pembandingan yang bisa didapat dari hasil perhitungan atau dari hasil pengukuran. Nilai pembandingan tersebut digunakan untuk mengetahui besar kesalahan (galat) sehingga dapat diketahui tingkat ketelitian alat. Untuk pengujian akurasi dari sensor dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$Galat = \left| \frac{\text{Nilai alat standar} - \text{Nilai Sensor}}{\text{Nilai alat standar}} \right| \times 100\% \quad (1)$$

$$\% \text{ Akurasi} = 100 - \text{Galat} \quad (2)$$

Klasifikasi ketelitian alat ukur listrik menurut standar IEC No. 13B-23 menspesifikasikan dibagi menjadi 8 kelas yaitu: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; dan 5. Artinya bahwa besarnya kesalahan alat ukur masing-masing adalah ±0,05%, ±0,1%, ±0,2%, ±0,5, ±1,0%, ±1,5%, ±2,5%, dan ±5% [13].

C. Perancangan Perangkat Lunak



Gambar 3. Diagram alir perancangan perangkat lunak

Alur kerja sistem *monitoring* HAWT seperti pada Gambar 3 dimulai dengan memeriksa HAWT apakah berfungsi dengan baik. Apabila sudah berfungsi maka selanjutnya memeriksa apakah perangkat keras sistem *monitoring* terkoneksi dengan internet, proses sensing

data selalu berjalan dan menunggu koneksi internet tersambung agar dapat dikirim mikrokontroler melalui alamat API ke *database* MySQL. Proses masukan data sensing secara otomatis oleh sistem dibantu dengan kode program yang dibuat melalui perangkat lunak *Arduino IDE v.1.8.13*. Pengguna yang ingin memantau langsung data yang terkirim harus mengakses alamat *website* dan mengisi *username* dan *password* pada halaman *login*. Setelah masuk ke *website* pengguna akan disajikan dengan halaman utama dan halaman *monitoring* dari masing-masing parameter. Dalam menampilkan data hasil *monitoring*, *website* akan meminta HTTP *request* ke server *database*. Jika server mengirimkan data (HTTP *response*) ke *website* maka akan terjadi proses parsing data yang akan di tampilkan di *monitoring*. Tetapi jika server tidak mengirimkan data maka *website* akan me-*request* data kembali. Perangkat lunak yang digunakan penulis untuk membuat *website* adalah *Visual Studio Code v.1.66.2*.

Menurut ISO 9241, yang merupakan sebuah pendekatan bertujuan untuk memastikan bahwa produk yang dirancang sesuai dengan kebutuhan pengguna dan mudah untuk dipahami. Perancangan perangkat lunak yang baik dapat dilihat dari performa tampilan antar-muka dan kecepatan akses data yang cepat kapanpun dalam berbagai kondisi. Maka dari itu, dilakukan pengujian respon waktu pengiriman data ke *database* sesuai dengan spesifikasi *delay* pada Tabel 1 dimulai saat data dikirim hingga sampai pada *website*. Kemudian untuk dapat mengetahui *website* memberikan kemudahan dan kenyamanan untuk pengguna, dilakukan pengujian dengan metode evaluasi *User Experience Qusteion* (UEQ) dengan jumlah pertanyaan yang diajukan ke responden sebesar 26 pertanyaan seperti pada Gambar 4 serta berisi enam aspek yaitu kejelasan (*perspicuity*) daya tarik (*attractiveness*), ketepatan (*dependability*), efisiensi (*efficiency*), stimulasi (*stimulation*), kebaruan (*novelty*). Gradasi penempatan pertanyaan yang tidak seragam dari skala 1-7 pada bagian kiri maupun kanan dalam kuisioner, dilakukan untuk meminimalisir kecenderungan jawaban yang sama oleh responden. Untuk memenuhi syarat responden UEQ yang seharusnya, kuisioner harus diberikan kepada 20 hingga 30 responden [14].

Tabel 1. Spesifikasi *delay* [15]

Kategori	Web Browsing (sec)	Data Transfer (sec)
Sangat Bagus	<2 sec	< 15 sec
Bagus	2 sec s/d 3 sec	15 s/d 30 sec
Sedang	3 sec s/d 4 sec	30 s/d 45 sec
Jelek	> 4 sec	> 60 Sec

Tabel 2. Spesifikasi sistem

No	Perangkat	Keterangan
1.	ESP32	<ul style="list-style-type: none"> • Pin I/O: 32 pin • Tegangan: 2.2~3.6 VDC • Arus kerja: 80mA • Wi-Fi: 802.11 b/g/n • Bluetooth: 4.2 BR/EDR+ BLE

No	Perangkat	Keterangan
2.	Sensor ZMPT101B	<ul style="list-style-type: none"> • Output tegangan: 8 V • Tegangan <i>supply</i>: 8 V • Toleransi arus lebih: 100 A • Sensitivitas: 66 - 185 mV/A
3.	Sensor ACS712	<ul style="list-style-type: none"> • Arus primer: 2 mA • Arus sekunder: 2 mA • Akurasi: 0,2 • Linearitas: 0,10 %
4.	Sensor Anemometer	<ul style="list-style-type: none"> • Tegangan <i>supply</i>: DC12-24V • Tegangan <i>output</i>: 0-5V • Kecepatan mula angin: 0,4-0,8m/s • Sistem <i>error</i>: ±3%

	1	2	3	4	5	6	7		
menyusahkan	○	○	○	○	○	○	○	menyenangkan	1
tak dapat dipahami	○	○	○	○	○	○	○	dapat dipahami	2
kreatif	○	○	○	○	○	○	○	monoton	3
mudah dipelajari	○	○	○	○	○	○	○	sulit dipelajari	4
bermanfaat	○	○	○	○	○	○	○	kurang bermanfaat	5
membosankan	○	○	○	○	○	○	○	mengasyikkan	6
tidak menarik	○	○	○	○	○	○	○	menarik	7
tak dapat diprediksi	○	○	○	○	○	○	○	dapat diprediksi	8
cepat	○	○	○	○	○	○	○	lambat	9
berdaya cipta	○	○	○	○	○	○	○	konvensional	10
menghalangi	○	○	○	○	○	○	○	mendukung	11
baik	○	○	○	○	○	○	○	buruk	12
rumit	○	○	○	○	○	○	○	sederhana	13
tidak disukai	○	○	○	○	○	○	○	menggembirakan	14
lazim	○	○	○	○	○	○	○	terdepan	15
tidak nyaman	○	○	○	○	○	○	○	nyaman	16
aman	○	○	○	○	○	○	○	tidak aman	17
memotivasi	○	○	○	○	○	○	○	tidak memotivasi	18
memenuhi ekspektasi	○	○	○	○	○	○	○	tidak memenuhi ekspektasi	19
tidak efisien	○	○	○	○	○	○	○	efisien	20
jelas	○	○	○	○	○	○	○	membingungkan	21
tidak praktis	○	○	○	○	○	○	○	praktis	22
terorganisasi	○	○	○	○	○	○	○	berantakan	23
atraktif	○	○	○	○	○	○	○	tidak atraktif	24
ramah pengguna	○	○	○	○	○	○	○	tidak ramah pengguna	25
konservatif	○	○	○	○	○	○	○	inovatif	26

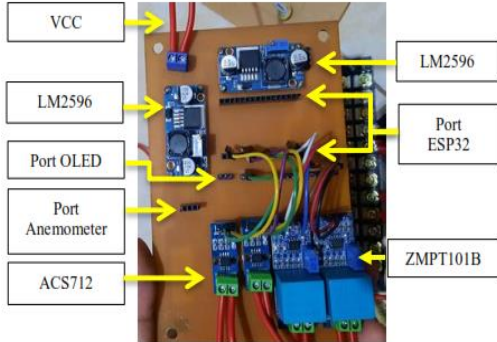
Gambar 4. Pertanyaan UEQ [14]

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

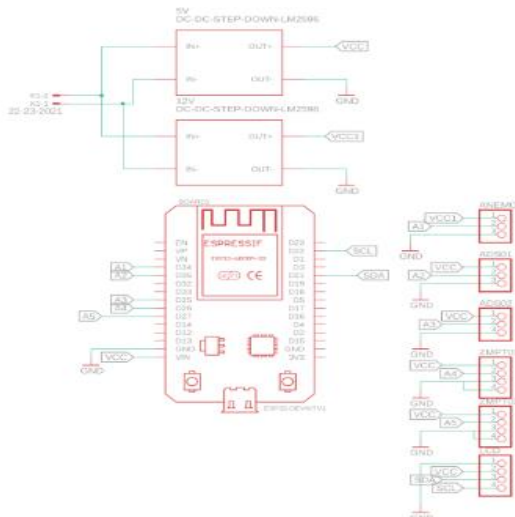
A. Implementasi Perangkat Keras dan Lunak

Implementasi sistem *monitoring* HAWT meliputi perangkat keras dan perangkat lunak, untuk perangkat keras disusun pada *layout* PCB seperti pada Gambar 5 dan Gambar 6 dimana komponen yang digunakan terdiri dari 2 buah sensor arus ACS712, 2 buah sensor ZMPT101B, 2 buah LM2596 DC-DC konverter, sensor anemometer, mikrokontroler ESP32, dan OLED *Display*. Penggunaan 2 buah sensor untuk arus dan tegangan dikarenakan terdapat 2 parameter berbeda yang dibaca pada sistem *monitoring* yaitu hasil luaran turbin angin dan hasil luaran setelah proses *inverter* dari akumulator dan ATS (*Automatic Transfer Switch*). Kemudian implementasi antarmuka *website* seperti pada Gambar 7 dirancang menggunakan bahasa PHP dan framework Bootstrap dengan halaman yang dibuat berjumlah 8 yaitu *dashboard*, kecepatan angin, tegangan *wind turbine*, tegangan ATS, arus *wind turbine*, arus ATS, daya *wind turbine*, dan pusat informasi. Sistem *monitoring* yang ditampilkan berupa grafik dan angka pembacaan sensor secara *realtime* dan *report* data yang bisa di unduh oleh pengguna dengan format .xls. Untuk penyimpanan data pada *website*

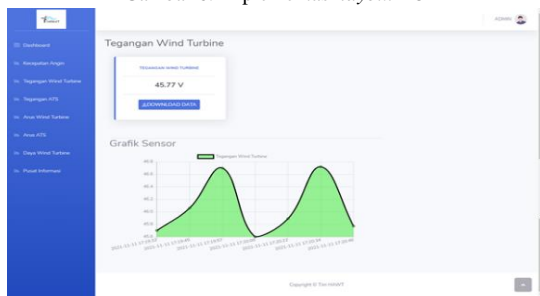
menggunakan *database* MySQL seperti pada Gambar 8 dengan struktur 2 buah tabel yaitu tabel *users* sebagai penyimpanan data akun dan tabel *sensor* sebagai penyimpanan data sensor. *Website* di *hosting* menggunakan *Domain Name System* (DNS) pada *web server* dengan alamat <https://www.hawt.elsintaitera.com> agar menjamin keamanan dan mencegah



Gambar 5. Implementasi hardware pada PCB



Gambar 6. Implementasi layout PCB



Gambar 7. Tampilan website HAWT

id	kecepatan_angin	arus_wind_turbine	arus_ats	tegangan_wind_turbine	tegangan_ats	daya_wind_turbine
1	4	4	4	4	4	4
2	5	5	5	5	5	5
3	6	6	6	6	6	6
4	1	1	1	1	1	1
5	2	2	2	2	2	2
6	10	10	10	10	10	10
7	20	20	20	20	20	20
8	25	25	25	25	25	25
9	1	2	3	4	5	6
10	2	3	4	5	6	7
11	5	10	15	20	25	30
12	5	6	7	8	9	2
13	6	4	2	5	8	1
14	10	12	13	14	15	16

Gambar 8. Data yang terkirim ke database

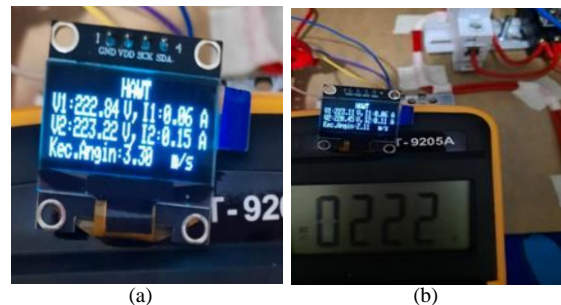
B. Pengujian Akurasi Sensor Tegangan ZMPT101B

Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan tingkat kesalahan dan pengecekan akurasi antara hasil pengukuran sistem *monitoring* HAWT dengan alat ukur standar. Proses kalibrasi dilakukan seperti pada Gambar 9 (a) dimana perangkat keras sistem *monitoring* pada *layout* PCB saling dihubungkan menggunakan kabel *male* dan *female* baik dari ESP32, sensor atau komponen lainnya sesuai dengan *Vcc*, *Ground*, dan *Vout*. Kemudian menyiapkan koneksi *Wi-Fi* untuk proses integrasi ESP32 ke *website* dan menghubungkan semua perangkat dengan tegangan sumber atau *power supply* dari PLN sebesar 220 V agar sistem menyala dan bekerja. Dalam pengujian ini, seperti pada Gambar 9 (b) dipilih multimeter digital DT9205A yang sudah dikalibrasi dengan limitasi pengukuran tegangan sampai dengan 1000 V sebagai pembanding antara alat standar dengan perangkat yang telah dirancang.

Data pengujian sensor tegangan diperoleh dengan menggunakan regulator tegangan yang divariasikan dari nilai 0 – 240 V seperti pada Tabel 3 terdapat 8 pengujian yang dilakukan dengan pengambilan sampel tiap 1 menit. Pada pengujian pertama dilihat dari OLED *Display* seperti Gambar 9 (a) sensor 1 (V1) membaca tegangan 222 V dan sensor 2 (V2) membaca 223 V sedangkan pembacaan multimeter seperti pada Gambar 9 (b) sebesar 222 V. Untuk pengujian selanjutnya nilai yang diperoleh tidak terlalu jauh dengan pengujian pertama. Persentase rata-rata galat yang diperoleh melalui perhitungan dengan (1) sebesar 0,22% dan rata-rata akurasi yang diperoleh melalui perhitungan dengan (2) sebesar 99,9% yang berarti masih dalam batas toleransi galat pada pengukuran menurut klasifikasi standar IEC No. 13B-23.

Tabel 3. Hasil pengujian sensor tegangan ZMPT101B

No.	Sensor 1 (V)	Sensor 2 (V)	Multimeter (V)	Galat (%)	Akurasi (%)
1.	222,98	223,12	222,00	0,06%	99,9
2.	223,01	223,08	222,00	0,03%	99,9
3.	224,54	222,65	222,00	0,85%	99,1
4.	222,84	223,22	222,00	0,17%	99,8
5.	223,02	222,79	222,00	0,10%	99,9
6.	223,11	222,45	222,00	0,30%	99,7
7.	223,11	223,03	222,00	0,04%	99,9
8.	223,44	222,91	221,00	0,24%	99,8
Rata-rata	223,26	222,66	221,88	0,22%	99,8

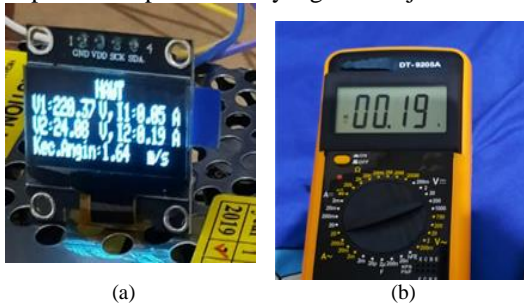


Gambar 9. Pengujian tegangan (a) sensor ZMPT101B, (b) multimeter

C. Pengujian Akurasi Sensor Arus ACS712

Pada pengujian sensor arus ACS712 seperti pada Gambar 10 dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor dengan multimeter digital DT92-05A yang sudah dikalibrasi dengan limitasi pengukuran arus sampai dengan 20 A. Sensor arus penting untuk di uji, karena akan mempengaruhi keakuratan dari sensor tersebut membaca nilai arus yang dihasilkan oleh HAWT. Proses kalibrasi yang dilakukan sama dengan pengujian sensor tegangan ZMPT101B, tetapi untuk pengambilan sampel data dilakukan setiap 4 kali tiap 1 menit dengan mengukur arus pada beban yang berbeda-beda yaitu setrika, kipas angin, dan charger laptop. Dari hasil pengukuran seperti pada Tabel 4, sensor arus ACS712 sudah dapat dikatakan bekerja baik dengan membaca arus dari rentang 0 – 2 A. Dapat dibuktikan dari sampel percobaan pada beban 2 yaitu kipas angin. Sistem *monitoring* melalui *OLED Display* membaca 0,19 A yang ditunjukkan pada Gambar 10 (a) dan pada multimeter membaca 0,19 A yang ditunjukkan oleh Gambar 10 (b).

Setelah semua sampel data diperoleh, selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan (1) dan (2) untuk melihat berapa besarnya rata-rata galat dari pengukuran dan akurasi dari sensor. Dapat dilihat dari Tabel 4 hasil perhitungan rata-rata galat diperoleh sebesar 3,51% dan rata-rata akurasi sensor sebesar 96%. Rata-rata galat yang diperoleh masih dalam batas toleransi galat pengukuran menurut Standar IEC No. 13B-23 dimana keakuratan yang tinggi biasanya digunakan pada alat-alat ukur portabel yang kecil atau alat ukur yang digunakan pada panel. Beberapa perbedaan antara pembacaan nilai arus pada sensor ACS712 dan multimeter dapat terjadi karena perbedaan sensitifitas pada kedua alat ukur dan dapat juga disebabkan ketidakstabilan arus saat proses pengukuran sehingga terdapat selisih pembacaan yang sedikit jauh.



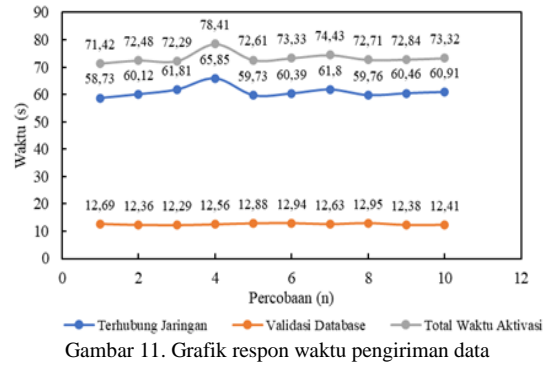
Gambar 10. Pengujian arus (a) sensor ACS712, (b) multimeter

Tabel 4. Hasil pengujian sensor arus ACS712

Beban	Sensor (V)	Multimeter (V)	Galat (%)	Akurasi (%)
Setrika	1,52	1,60	5,00	95,00
	1,53	1,60	4,38	95,63
	1,57	1,60	1,88	98,13
	1,67	1,60	4,37	95,63
Kipas Angin	0,19	0,18	5,56	94,44
	0,18	0,18	0,00	100,00
	0,19	0,19	0,00	100,00
	0,19	0,18	5,56	94,44

Beban	Sensor (V)	Multimeter (V)	Galat (%)	Akurasi (%)
Charger Laptop	0,27	0,26	3,85	96,15
	0,28	0,27	3,70	96,30
	0,26	0,25	4,00	96,00
Rata-rata			3,51	96,49

D. Pengujian Respon Waktu Pengiriman Data



Sistem *monitoring* pada HAWT akan bekerja dengan baik apabila data hasil sensing berhasil terkirim pada *database*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan perangkat keras terhubung ke jaringan internet dan data sensor untuk terkirim ke *database*. Pengujian respon waktu dilakukan dengan cara menghitung waktu pengiriman dari ESP32 yang dapat diketahui dengan menggunakan serial monitor *Arduino IDE v.1.8.13*, ketika ESP32 telah melakukan tugas pengiriman maka akan mulai diukur waktu pengiriman yang dibutuhkan. Pengambilan data dilakukan sebanyak 10 kali dengan waktu tiap 1 menit untuk mencari nilai rata-rata *delay* pengukuran pada sistem berlangsung lambat atau cepat. Hasil respon waktu yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 11 dimana terdiri dari 3 grafik yaitu respon waktu validasi *database*, alat terhubung jaringan, dan total waktu dari keduanya.

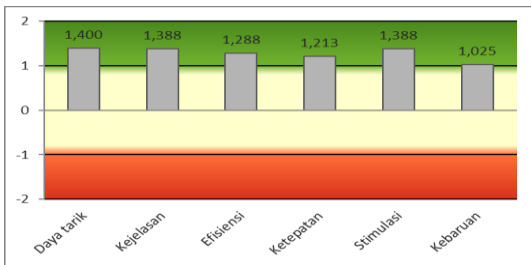
Diperoleh rata-rata *delay* sistem terhubung ke jaringan sebesar 60,95 detik, rata-rata *delay* validasi *database* sebesar 12,60 detik, dan rata-rata total waktu aktivasi sistem keseluruhan sebesar 73,38 detik. Pada grafik *delay* terhubung ke jaringan nilai terbesar yang diperoleh yaitu 65,85 detik dan yang terkecil yaitu 58,73 detik. Pada grafik *delay* validasi *database* nilai terbesar 12,95 detik dan yang terkecil 12,29 detik. Pada grafik total waktu aktivasi nilai terbesar 78,41 detik dan yang terkecil 71,42 detik. Berdasarkan hasil yang diperoleh tersebut *delay* dari pengujian sistem sudah termasuk di dalam spesifikasi Tabel 1 dimana apabila data transfer sudah kurang dari 15 detik maka sistem sudah masuk dalam kategori sangat bagus. Faktor yang mempengaruhi respon waktu pengiriman data yang berbeda-beda tersebut bisa terjadi karena kecepatan jaringan atau koneksi internet yang dipakai pengguna yang kurang stabil.

E. Pengujian Antarmuka Pengguna

Pengujian antarmuka pengguna sistem *monitoring HAWT* menggunakan metode evaluasi *User Experience Questions (UEQ)*. Data diperoleh dari 20 *sampling* responden seperti pada Gambar 12 dari kuisioner yang disebarakan menggunakan pertanyaan pada Gambar 4. Hal tersebut telah dilakukan pada penelitian sejenis dan penentuan jumlah responden sudah dapat memberikan hasil yang cukup stabil. Selanjutnya data diolah menggunakan *UEQ tool data analysis* untuk melihat perolehan skor pengalaman pengguna *website*.

Items																												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
7	7	1	1	1	7	7	7	1	1	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	1	7	7	
5	6	6	5	6	5	5	4	4	3	4	5	5	5	4	6	5	5	5	4	6	6	5	4	6	5	4	4	3
7	6	2	2	1	6	6	4	3	2	6	3	5	5	4	7	4	4	2	5	1	7	1	2	1	4	3	4	3
3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3
7	6	2	2	1	7	6	6	1	4	7	1	7	7	7	7	1	1	2	6	2	7	1	2	1	6	6	4	6
5	6	5	4	5	6	6	4	6	5	6	6	6	6	5	6	5	6	5	5	4	6	6	6	4	6	6	4	6
6	6	2	3	1	5	6	5	5	4	6	2	6	5	6	7	5	3	3	7	1	7	1	3	2	5	5	5	5
5	4	5	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	6	5	6	6	5	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	5	4	3	2	3	6	6	3	5	6	5	7	6	6	5	4	4	5	7	4	4	4	2	3	3	7	7	7
6	5	6	3	2	4	4	6	5	4	6	4	6	3	4	4	3	4	4	6	3	3	2	5	3	5	5	5	6
6	5	3	2	2	4	6	6	3	4	6	2	6	6	6	5	2	2	2	6	2	6	2	6	4	2	2	6	6
5	5	6	4	4	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	7	5	6	6	6	6	5	6	6	6	6
6	4	6	5	6	5	6	6	5	5	7	2	5	5	4	6	3	2	2	5	3	5	3	3	2	5	5	5	5
7	6	1	2	1	7	6	4	2	2	7	1	6	6	6	6	2	1	1	7	2	6	2	1	2	7	7	7	7
6	7	5	6	6	7	7	6	6	6	6	6	7	7	6	6	7	7	6	6	7	7	6	7	6	7	7	7	6
4	7	1	2	1	7	7	7	2	3	6	1	5	7	5	7	2	2	1	7	1	6	2	2	1	6	6	6	6
7	7	1	1	1	7	7	4	1	1	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	1	1	1	1
6	6	2	2	2	6	6	6	2	2	6	2	6	6	6	6	2	2	2	6	2	6	2	6	2	2	2	2	2
7	7	1	1	1	7	7	1	1	1	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	1	1	1	1

Gambar 12. Data responden pengujian UEQ



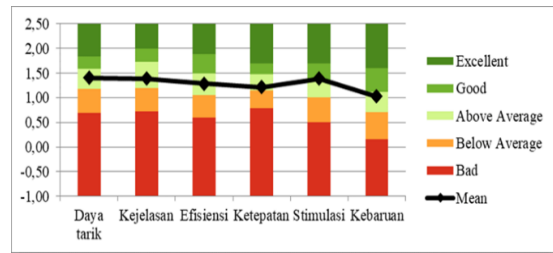
Gambar 13. Diagram nilai rata-rata 6 skala

Tabel 5. Kualitas *pragmatic* dan *hedonic*

<i>Pragmatic and Hedonic Quality</i>	
Daya tarik	1,40
Kualitas Pragmatis	1,30
Kualitas Hedonis	1,21

Tabel 6. *Benchmark* evaluasi UEQ

<i>Scale</i>	<i>Mean</i>	<i>Comparisson to benchmark</i>
Daya tarik	1,40	<i>Above average</i>
Kejelasan	1,39	<i>Above average</i>
Efisiensi	1,29	<i>Above average</i>
Ketepatan	1,21	<i>Above average</i>
Stimulasi	1,39	<i>Good</i>
Kebaruan	1,03	<i>Above average</i>



Gambar 14. Grafik *benchmark* evaluasi UEQ

Berdasarkan rata-rata nilai dari 6 skala seperti pada Gambar 13 dapat dilihat bahwa semua skala berada pada batas warna hijau dan nilainya diatas 1 yang artinya bahwa gambaran skala keseluruhan pengukuran berada pada level yang baik. Penilaian terbaik berada pada skala daya tarik dan penilaian terendah berada pada skala kebaruan. Aspek daya tarik meliputi atraktif, nyaman, dan ramah pengguna dari sebuah *website*. Semua skala tersebut dapat diolah kembali untuk mengetahui kualitas *pragmatic* dan *hedonic* dari *website* yang dirancang. Kualitas *pragmatic* meliputi efisiensi, kejelasan, dan ketepatan. Kualitas *hedonic* meliputi kebaruan dan stimulasi. Berdasarkan Tabel 5 dari ketiga kualitas tersebut aspek daya tarik memiliki nilai yang tertinggi yaitu 1,40 yang sudah termasuk dalam kategori diatas rata-rata. Kemudian aspek kualitas *hedonic* dan *pragmatic* memiliki nilai 1,21 dan 1,30. Hasil skor secara keseluruhan yang diperoleh ditunjukkan oleh Tabel 6 dan Gambar 14 dimana grafik perbandingan skala *benchmark* UEQ *website* mendapatkan nilai daya tarik (1,40 = *above average*), kejelasan dengan nilai (1,39 = *above average*), Efisiensi dengan nilai (1,29 = *above average*), ketepatan dengan nilai (1,21 = *above average*), stimulasi dengan nilai (1,39 = *Good*) dan kebaruan dengan nilai (1,03 = *above average*). Berdasarkan aspek penilaian tersebut dapat dikatakan bahwa *website monitoring HAWT* ini sudah bekerja dengan baik pada antarmuka pengguna. Namun, aspek *pragmatic quality* dan *hedonic quality* masih perlu peningkatan agar sistem ini bisa digunakan sebagai dasar pengembangan *monitoring* selanjutnya.

IV. KESIMPULAN

Sistem *monitoring HAWT* berbasis IoT menggunakan *website* sebagai antarmuka pengguna telah berhasil dirancang dan mampu memberikan informasi kepada pengguna secara *realtime*. Rata-rata galat yang diperoleh dari pengujian akurasi sensor arus ACS712 sebesar 3,51% dan sensor tegangan ZMPT101B sebesar 0,22%. Rata-rata respon waktu yang dibutuhkan mikrokontroler untuk mengirim data ke *database* sebesar 12,60 detik dan total waktu aktivasi sistem secara keseluruhan sebesar 73,38 detik. Evaluasi antarmuka pengguna *website* menggunakan UEQ mendapatkan nilai diatas rata-rata (*above average*) pada aspek kejelasan, daya tarik, kebaruan, efisiensi, ketepatan dan memperoleh nilai baik (*good*) pada aspek stimulasi. Diharapkan pada penelitian selanjutnya juga dapat ditambahkan fungsi kontroler untuk mengontrol perala-

tan sistem *monitoring* dari jarak jauh sehingga lebih efektif dan lebih mudah dalam mematikan HAWT jika terjadi kerusakan atau gangguan secara tiba-tiba.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas pendanaan oleh Institut Teknologi Sumatera melalui program Hibah Penelitian ITERA Smart dengan No.SK: B/323/IT9.C1/PT.01.03/2019

REFERENSI

- [1] M. E. Putra, Z. Amin, I. Islahuddin, and ..., "Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Monitoring Data Turbin Angin Berbasis Website Menggunakan Raspberry Pi 3B+," *Met. J. Sist. ...*, vol. 02, pp. 70–81, 2020, [Online]. Available: <http://metal.ft.unand.ac.id/index.php/metal/article/view/129>.
- [2] M. A. Pratama and M. Widyartono, "Rancang Bangun Prototipe Pemantauan Biaya Tagihan Listrik Berbasis Arduino Mega," *Jurnal Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 385–392, 2020.
- [3] N. Gusriani and M. Yuhendri, "Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Arduino Berbasis GUI Matlab," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 1, no. 2, pp. 229–233, 2020, doi: 10.24036/jtein.v1i2.76.
- [4] F. Atabiq, M. A. Wildan, and M. R. Alfianto, "Rancang Bangun Sistem Pemantauan Luaran Pico Generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sumbu Vertikal menggunakan Arduino UNO," *J. Appl. Electr. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 43–49, 2021, doi: 10.30871/jaee.v5i2.3143.
- [5] I. Syaifudin, A. B. Yunanda, and A. Kridoyono, "Simulasi Alat Pemantau Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Mikrokontroler Melalui Monitor PC," *KONVERGENSI*, vol. 15, no. 1, pp. 1–9, 2019.
- [6] B. Chaniago and A. Hamzah, "Analisa dan Desain Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan Menggunakan Web dan Arduino," *Jom Fteknik*, vol. 5, no. 2, pp. 1–6, 2018.
- [7] A. J. Tamamy, Z. Arifin, and A. Amalia, "Desain Low-Cost Sistem Monitoring Pengukuran Potensi Tenaga Matahari dan Tenaga Angin," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 15, no. 1, 2019, doi: 10.17529/jre.v15i1.12077.
- [8] A. Sukandi, E. Ridwan, D. Andini, H. N. Gifari, and M. F. Iriansyah, "Rancang Bangun Kontroler Pembangkit Listrik Hybrid Angin Dan Surya Berbasis Arduino," *Pros. Semin. Nas. Tek. Mesin Politek. Negeri Jakarta*, pp. 62–72, 2020.
- [9] A. Noviyanto, D. Notosudjono, and D. B. Fiddiansyah, "Perancangan Sistem Monitoring Prototipe Pembangkit Hibrid PLTS dengan PLTB Berbasis Internet Of Things (Iot)," *J. Online Mhs. Bid. Tek. Elektro Univ. Pakuan*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2018.
- [10] R. Y. Pratama and M. Yuhendri, "Monitoring Turbin Angin Menggunakan Smartphone Android," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 6, no. 2, p. 64, 2020, doi: 10.24036/jtev.v6i2.108517.
- [11] D. Corio, R. Arwinda S. E. Liguna, M. Azhari, K. Kananda, and S. Istiphara, "Rancang Bangun Turbin Angin Axial Flux Permanent Magnet Generator Aplikasi pada Daerah Berkecepatan Angin Rendah," *J. Ecotipe (Electronic, Control, Telecommun. Information, Power Eng.)*, vol. 9, no. 1, pp. 8–18, 2022, doi: 10.33019/jumalecotipe.v9i1.2658.
- [12] I. P. A. W. Widyatmika, N. P. A. W. Indrawati, I. W. W. A. Prastya, I. K. Darminta, I. G. N. Sangka, and A. A. N. G. Saptaka, "Perbandingan Kinerja Arduino Uno dan ESP32 Terhadap Pengukuran Arus dan Tegangan," *J. Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 13, no. 1, pp. 35–47, 2021, doi: 10.5614/jjoki.2021.13.1.4.
- [13] B. M. Atmegap, N. Arifin, R. S. Lubis, and M. Gapy, "Rancang Bangun Prototype Power Meter 1 Fasa Berbasis Mikrkontroler Atmega328P," *J. Karya Ilm. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 13–22, 2019.
- [14] I. N. S. W. Wijaya, P. P. Santika, I. B. A. I. Iswara, and I. N. A. Arsana, "Analisis dan Evaluasi Pengalaman Pengguna PaTik Bali dengan Metode User Experience Questionnaire (UEQ)," *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 8, no. 2, p. 217, 2021, doi: 10.25126/jtiik.2020762763.
- [15] A. F. Darmawan and A. T. Hanuranto, "Perancangan Aplikasi Penunjang Kualitas Jamur Tiram Berbasis Internet of Things (IoT) Application," *eProceedings ...*, 2021, [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/15876>.