

Sistem Kontrol dan Monitoring Automatic Transfer Switch (ATS) Model Hybrid Berbasis Internet of Things

The Control and Monitoring System of Hybrid Internet of Things-based Automatic Transfer Switch (ATS) Model

Nanda Salsabila¹, Subuh Isnur Haryudo^{2*}

^{1,2} Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Jalan Ketintang, Gayungan, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

*2 Penulis koresponden: subuhisnur@unesa.ac.id
1 nanda.19017@mhs.unesa.ac.id

Received on 23-06-2023, accepted on 13-07-2023, published on 21-07-2023

Abstrak

Energi listrik sangat penting dalam kehidupan manusia. Namun, ketika pasokan energi tidak mencukupi atau blackout berkepanjangan, dampak negatif yang signifikan dapat terjadi. Saat ini, pengembangan sumber energi terbarukan dan teknologi IoT sedang giat dilakukan untuk memenuhi kebutuhan listrik. Teknologi IoT memudahkan pengendalian dan monitoring cadangan energi melalui sistem Automatic Transfer Switch (ATS). Penambahan sumber energi listrik cadangan diperlukan sebagai backup saat terjadi gangguan dan juga untuk menghemat biaya. Dalam penelitian ini, dikembangkan sistem kontrol dan monitoring ATS berbasis IoT menggunakan mikrokontroler Nodemcu ESP32. Sistem ini mengintegrasikan sumber utama dari PLTS dan sumber cadangan dari PLN dengan sokongan dari solar tracker single axis memakai motor servo yang dikendalikan oleh sensor light dependent resistant serta Arduino Uno. Sistem ini dapat dikontrol dan dimonitoring jarak jauh menggunakan website yang terhubung dengan database. Selama 5 hari pengujian, terjadi peningkatan daya rata-rata sebesar 8,7% berkat penggunaan solar tracker. Proses charging menggunakan solar tracker juga lebih cepat apabila tidak menggunakan beban dengan kondisi baterai 60% selang waktu yang dibutuhkan adalah 4 jam. Dengan peningkatan daya yang signifikan dan tingkat kesalahan pengiriman data serta proses peralihan sumber energi listrik selang waktu 5-7 detik, dapat disimpulkan bahwa desain dan implementasi sistem ini berjalan dengan baik.

Kata kunci : Arduino, ATS, Energi Listrik, IoT (*Internet of Things*), Nodemcu ESP32, *Solar Tracker*

Abstract

Electrical energy is very important in human life. However, when the energy supply is insufficient or prolonged outages, significant negative costs can occur. Currently, the development of renewable energy sources and IoT technology is being carried out to meet electricity needs. IoT technology makes it easy to control and monitor energy reserves through the Automatic Transfer Switch (ATS) system. The addition of a backup source of electrical energy is needed as a backup in the event of a disturbance and also to save costs. In this research, an IoT-based ATS control and monitoring system was developed using the Nodemcu ESP32 microcontroller. This system integrates the main sources from PLTS and backup sources from PLN with the support of a single axis solar tracker using a servo motor controlled by a light dependent resistant sensor and an Arduino Uno. This system can be controlled and monitored remotely using a website connected to the database. During the 5 days of testing, there was an average power increase of 8.7% thanks to the use of a solar tracker. The charging process using the solar

tracker is also faster when not using a load with 60% battery condition the time interval required is 4 hours. With a significant increase in power and the error rate of data transmission and the process of switching electrical energy sources at intervals of 5-7 seconds, it can be concluded that the design and implementation of this system is going well.

Keywords: Arduino, ATS, Energy, IoT (Internet of Things), Nodemcu ESP32, Solar Tracker

I. PENDAHULUAN

Energi memainkan peran yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Ketidacukupan pasokan energi dapat berdampak negatif pada kelangsungan hidup, khususnya dalam hal ketergantungan pada energi listrik. Saat ini, pembangunan pembangkit listrik dari skala kecil hingga besar sedang giat dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Namun, konsumsi energi listrik saat ini masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil yang memiliki dampak negatif pada lingkungan dan ketersediaannya semakin terbatas.

Dalam mengatasi masalah ini, pemerintah Indonesia mendorong pengembangan energi baru terbarukan (EBT) yang memiliki potensi sangat besar. Potensi energi baru terbarukan di Indonesia mencapai lebih dari 3.000 gigawatt (GW), meliputi energi surya, angin, hidro, panas bumi, bioenergi, dan laut. Namun, pemanfaatan energi baru terbarukan saat ini masih sangat rendah, dimana pemanfaatan energi hijau baru hanya sekitar 0,3% dari total potensi energi baru terbarukan yang ada di Indonesia [1].

Pemadaman listrik atau sistem blackout telah terjadi dalam jangka waktu yang cukup lama, bahkan sejak tahun 1980-an. Ketidakteraturan dalam pemadaman listrik tanpa pemberitahuan atau penjelasan kepada masyarakat menjadi salah satu alasan mengapa layanan publik ini kurang memuaskan. Saat ini, PLN mengalami krisis sumber energi, dan kapasitasnya diperkirakan tidak mampu memenuhi kebutuhan listrik masyarakat yang semakin meningkat [2].

Untuk mengatasi masalah tersebut, salah satu solusi yang diusulkan adalah menggunakan sumber energi hybrid, yang terdiri dari pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sebagai sumber utama dan PLN sebagai sumber cadangan. Untuk mengontrol peralihan pasokan listrik antara pembangkit listrik tenaga surya dan PLN, diperlukan sistem kontrol otomatis seperti automatic transfer switch (ATS) atau sistem interlok antara PLN dan sel surya. Dalam sistem ini, PLTS berperan sebagai sumber utama pasokan listrik, sehingga perlu memiliki keoptimalan dalam menyerap sinar matahari. Internet of Things merupakan salah satu inovasi yang memudahkan komunikasi antar perangkat dan sangat berperan penting di kehidupan masyarakat. Salah satu pemanfaatan IoT sebagai sebuah sistem pengontrolan dan sistem monitoring jarak jauh yang memudahkan pengguna. Website merupakan salah satu IoT yang mudah dijangkau dan dioperasikan baik di laptop/komputer maupun di smartphone.

Berangkat dari permasalahan tersebut, penelitian ini membahas sistem kontrol dan monitoring Automatic Transfer Switch (ATS) model hybrid berbasis Internet of Things (IoT). Kontrol ATS bisa dilakukan dengan mode manual dan otomatis di website, sedangkan pemantauannya meliputi, sudut servo, tegangan aki, tegangan AC, arus AC dan daya AC.

II. TINJAUAN PUSTAKA

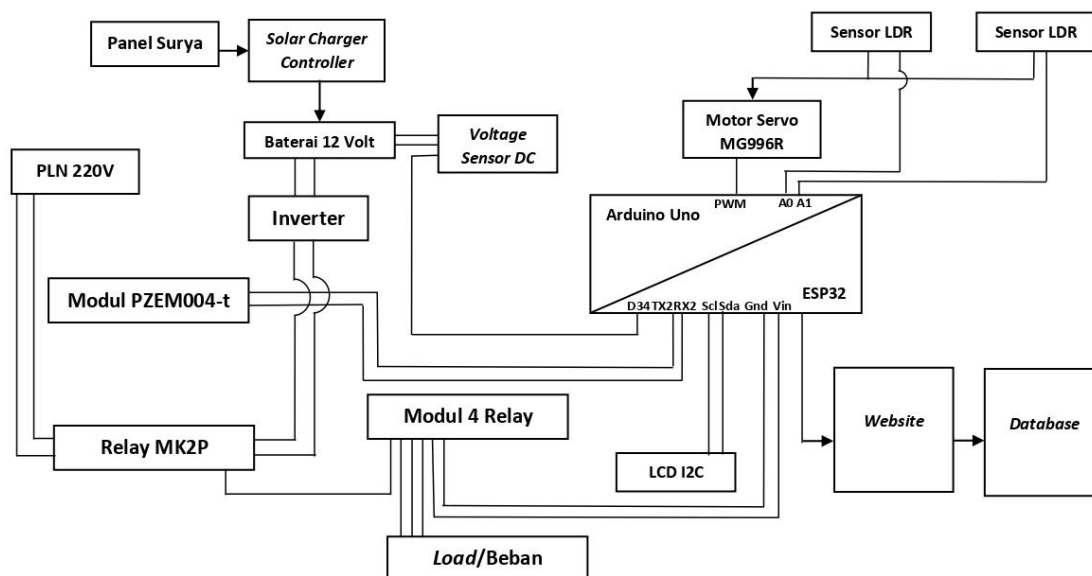
Dalam penelitian ini digunakan dialek pemrograman Arduino dan CSS [3]. Sistem pelacak surya dan sistem ATS untuk pemantauan jarak jauh kemudian dikalibrasi dan diuji. Jika terjadi kesalahan selama pengujian, akan ditemukan dan diperbaiki. Jika semua perangkat berfungsi dengan baik, pengujian akan selesai. Langkah terakhir adalah pengumpulan data dengan menggunakan informasi yang diperoleh, diikuti oleh analisis dan penarikan kesimpulan.

Perancangan dan pemantauan sistem kontrol dan monitoring *automatic transfer switch* (ATS) model *hybrid* berbasis *internet of things* digambarkan dalam bentuk diagram blok pada Gambar 1. Data pelacak surya dikirim ke mikrokontroler Nodemcu ESP32 oleh Arduino Uno yang berfungsi sebagai pengendali [4] [5]. Sementara itu, mikrokontroler ESP32 bekerja untuk mengirimkan data ke *website*, mengontrol sistem ATS, dan menerima data dari pelacak surya [6]. Sumber daya untuk menjalankan keseluruhan sistem berasal dari catu daya.

Dalam dunia teknologi dan rekayasa sistem, blok diagram sistem merupakan alat visual yang digunakan untuk menggambarkan komponen-komponen suatu sistem dan hubungan antara komponen-komponen tersebut. Blok diagram sistem memberikan representasi yang jelas dan terstruktur tentang bagaimana sebuah sistem berfungsi dan berinteraksi.

Blok diagram sistem sering digunakan dalam berbagai bidang seperti teknik elektronika, teknik kendali, ilmu komputer, dan rekayasa sistem secara umum. Tujuan utamanya adalah untuk

menyederhanakan kompleksitas sistem yang kompleks menjadi elemen-elemen dasar yang lebih mudah dipahami. Adapun blok diagram sistem ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Solar tracker berfungsi untuk memaksimalkan pembangkitan listrik dan digunakan untuk mengikuti pergerakan matahari dikenal dengan *tracking solar cell*. Ini diperlukan untuk pelacakan sel surya karena sel surya menghasilkan daya paling besar saat tegak lurus terhadap matahari [7]. Pada Gambar 1. Panel surya dan PLN merupakan sebuah input atau suplai daya dari suatu sistem ini [8]. Dimana, suplai daya tersebut nantinya dapat kita operasikan baik dengan mode manual (memilih suplai energi listrik) dan secara otomatis (pembacaan sensor tegangan DC) [9]. Semua mode tersebut nantinya berada di *website*. *Website* adalah sekumpulan halaman yang saling terhubung, yang berisi berbagai item seperti dokumen dan gambar yang disimpan di dalam *database* [10]. Pada diagram blok di atas mikrokontroler Arduino Uno dan mikrokontroler ESP32 merupakan inti dari proses tersebut yang mencakup beberapa komponen yang mendukung berjalannya sistem ini. Fungsi Arduino Uno adalah mengontrol pergerakan servo yang dipengaruhi oleh besaran nilai resistansi sensor LDR [11] [12]. Sedangkan fungsi dari mikrokontroler ESP32 adalah menerima data dari Arduino Uno mengenai besaran sudut servo dan mengirim data ke *database* xampp yang nantinya terkoneksi dengan *website* sistem tersebut. Sedangkan output dari sistem ini adalah tampilan *website* yang dapat mengontrol dan memonitoring sistem ATS dengan baik.

Pada *solar tracker* hasil pengukuran yang didapatkan adalah tegangan keluaran dan arus yang dihasilkan. Untuk persamaan daya menggunakan rumus sebagaimana berikut.

$$\text{Daya} = \text{tegangan} \times \text{arus} \tag{1}$$

Apabila data daya sudah didapatkan maka dilakukan perhitungan untuk mengetahui perbandingan antara *solar tracker* dengan solar statis 90 derajat. Sehingga didapatkan hasil seberapa optimal penggunaan *solar tracker*. Adapun persamaan perhitungan perbandingan peningkatan daya sebagaimana berikut.

$$\text{Peningkatan daya} = \frac{\text{Daya Solar Tracker} - \text{Daya Solar Statis}}{\text{Daya Solar Statis}} \tag{2}$$

IoT merupakan sebuah teknologi yang memungkinkan adanya sebuah pengendalian, komunikasi, serta kerjasama dengan berbagai perangkat keras melalui jaringan internet. Tujuan utama dari IoT adalah memungkinkan interaksi dan komunikasi antara perangkat tersebut dengan pengguna [13]. Aplikasi *website* umumnya digunakan untuk menampilkan data pengguna dan informasi yang berasal dari server [14]. *Database* yang digunakan adalah *database* xampp yang nantinya akan mempermudah pengguna dalam

pengolahan data yang terkirim dan manajemen basis data yang dikenal dengan DBMS [15]. Data yang dimonitoring meliputi sudut servo, tegangan DC, tegangan AC, arus AC, dan daya AC. Sensor AC yang digunakan adalah sensor PZEM-004tv30 yang mampu mengukur tegangan, arus, dan daya. Sensor ini dilengkapi dengan lubang inti besi/CT yang memungkinkan pengukuran arus melalui kabel yang melewati lubang tersebut [16]. Keandalan pengukuran dapat dilihat dari tingkat kesalahan antara hasil yang sebenarnya dengan yang terbaca pada alat ukur. Untuk menentukan kesalahan (*error*) tersebut dengan persamaan berikut.

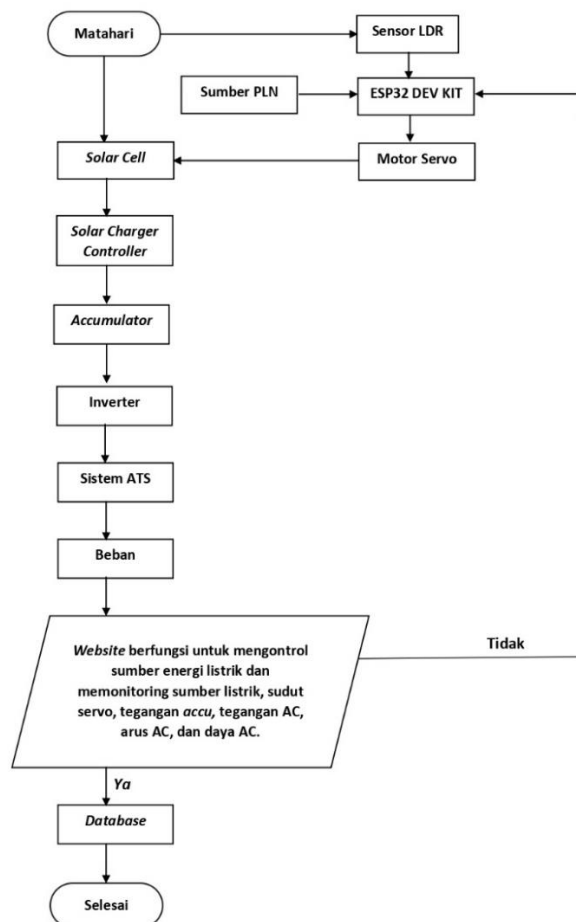
$$\text{Percentage Error} = \frac{|\text{Nilai Sensor} - \text{Hasil Pengukuran}|}{\text{Hasil Pengukuran}} \times 100\% \quad (3)$$

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dalam metode penelitiannya. Secara khusus, jenis pendekatan kuantitatif yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimen. Penelitian eksperimen adalah jenis penelitian di mana satu atau dua variabel bebasnya dikendalikan sedangkan variabel terikatnya diamati, dengan tujuan untuk mengamati perbedaan yang dihasilkan dari variabel bebas tersebut. Dalam penelitian ini, penelitian eksperimen digunakan untuk menguji hubungan antara perlakuan dan hasil kelompok eksperimen.

A. Diagram Fungsional Sistem

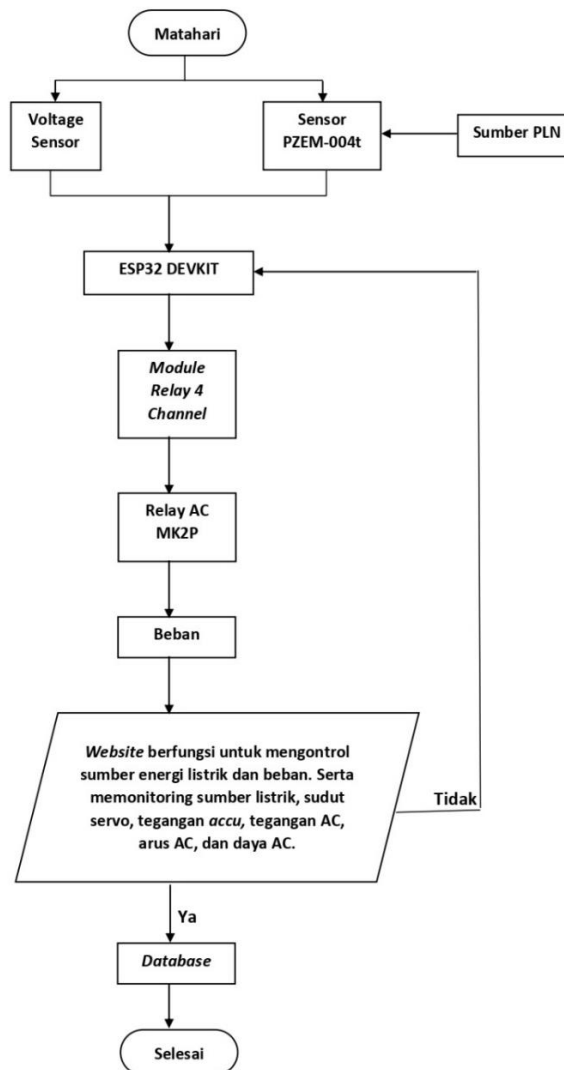
Langkah awal dalam pengembangan sistem kontrol dan monitoring model *hybrid automatic transfer switch* (ATS) berbasis IoT adalah mengoptimalkan tegangan keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang akan menjadi sumber utama listrik. Gambar 2 menggambarkan prinsip kerja dari *solar tracker*.



Gambar 2. Prinsip Kerja Solar Tracker

Dalam sistem pelacak surya, langkah pertama yang dilakukan adalah memilih posisi yang tegak lurus dengan panel sel surya. Sensor LDR akan mendeteksi posisi matahari sebagai langkah pertama. Data yang dihasilkan oleh sensor LDR akan diolah oleh mikrokontroler Arduino Uno. Dengan menggunakan informasi tersebut, motor servo akan diperintahkan untuk bergerak sesuai dengan posisi sensor LDR terhadap sinar matahari. Rentang pergerakan motor servo berkisar antara 0° hingga 180°. Kemudian, Arduino Uno akan mengirimkan nilai sudut posisi servo kepada ESP32. Tujuannya adalah untuk mengatur panel sel surya agar selalu tegak lurus terhadap matahari, sehingga tegangan yang dihasilkan dapat mencapai nilai maksimum.

Panel sel surya akan menyerap sinar matahari dan mengalirkannya ke solar charger controller, yang berfungsi untuk mengatur proses pengisian baterai. Hingga nantinya inverter akan mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC agar dapat menyuplai beban yang ada. Suplai energi listrik nantinya diatur pada sistem ATS dimana prinsip kerja sistem ATS ditunjukkan pada Gambar 3. *Ouput* dari sistem *solar tracker* ini adalah nantinya data dari arduino uno akan dikirimkan ESP32 ke dalam database xampp yang terkoneksi dengan *website*. *Website* juga akan menampilkan mode, sumber suplai energi listrik, kontrol beban, pemantauan sudut servo, tegangan *accu*, arus AC, daya AC, dan tegangan AC yang kemudian akan dianalisis.



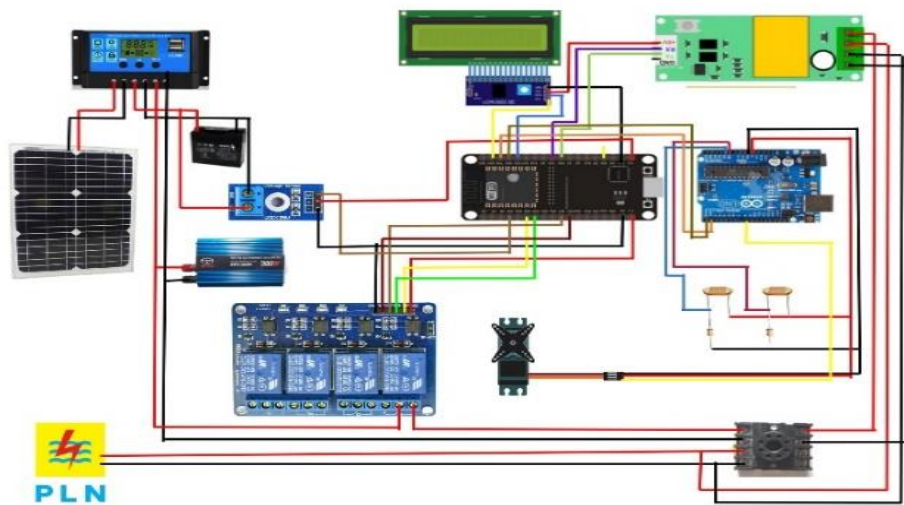
Gambar 3. Prinsip Kerja ATS

Pada sistem kerja ATS ini suplai daya listrik menggunakan pembangkit listrik tenaga matahari dan sumber PLN. *Solar cell* akan terhubung ke *voltage sensor* dan sensor PZEM-004t, dimana *voltage sensor* akan mendeteksi baterai *solar cell* apakah tegangan yang ada cukup untuk mensuplai beban. Sedangkan

sensor PZEM-004t akan bekerja membaca arus dan tegangan AC baik dari inverter maupun dari sumber PLN yang nantinya data tersebut akan diolah oleh ESP32. ESP 32 akan meneruskan ke *relay module 4 channel* dan mengintruksikan relay MK2P untuk beralih ke sumber energi cadangan apabila sumber utama tidak dapat menyuplai daya kepada beban. Dengan demikian, jika terjadi beban berlebihan di sisi beban dan terjadi penurunan tegangan di sisi baterai, relay ini akan memutuskan aliran listrik untuk mencegah kerusakan pada peralatan pembangkit sel surya. Sistem ATS ini dapat dikontrol secara manual dan otomatis melalui website. Dimana pada mode manual nantinya pengguna website dapat memilih sumber energi listrik PLTS atau PLN yang akan menyuplai beban. Sedangkan apabila pengguna mengaktifkan mode otomatis maka sistem ATS dengan otomatis memilih sumber energi listrik yang mampu menyuplai beban. Website juga akan menampilkan mode, sumber suplai energi listrik, kontrol beban, pemantauan sudut servo, tegangan accu, arus AC, daya AC, dan tegangan AC yang kemudian akan dianalisis.

B. Perancangan Hardware

Adapun Perancangan wiring diagram sistem tersebut sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Wiring Diagram

Dalam desain perangkat keras, terdapat pin yang digunakan untuk menghubungkan setiap komponen. Tabel 1 menunjukkan pin yang digunakan dalam pengkabelan yang disebutkan sebelumnya.

Tabel 1. Konfigurasi Pin Perancangan Hardware

No.	Komponen	Konfigurasi Pin					
1	ESP32	5V	D14	D33	D27	D32	Ground
	Relay Module 4 Channel	VCC	IN 1	IN 2	IN 3	IN 4	IN 5
2	ESP32	5 V	D16	D17	Ground		
	Sensor PZEM004tV30	VCC	RX	TX	Ground		
3	ESP32	5V	D34	Ground			
	Voltage Sensor	VCC	S	Ground			
4	ESP32	5V	D21	D22	Ground		
	LCD 16x2 I2C	VCC	SDA	SCL	Ground		
5	Arduino Uno	Vin	A0	A1	Ground		
	Sensor LDR	VCC	Sensor 1	Sensor 2	Ground		
6	Arduino Uno	5V	8	Ground			
	Servo	VCC	PWM	Ground			

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

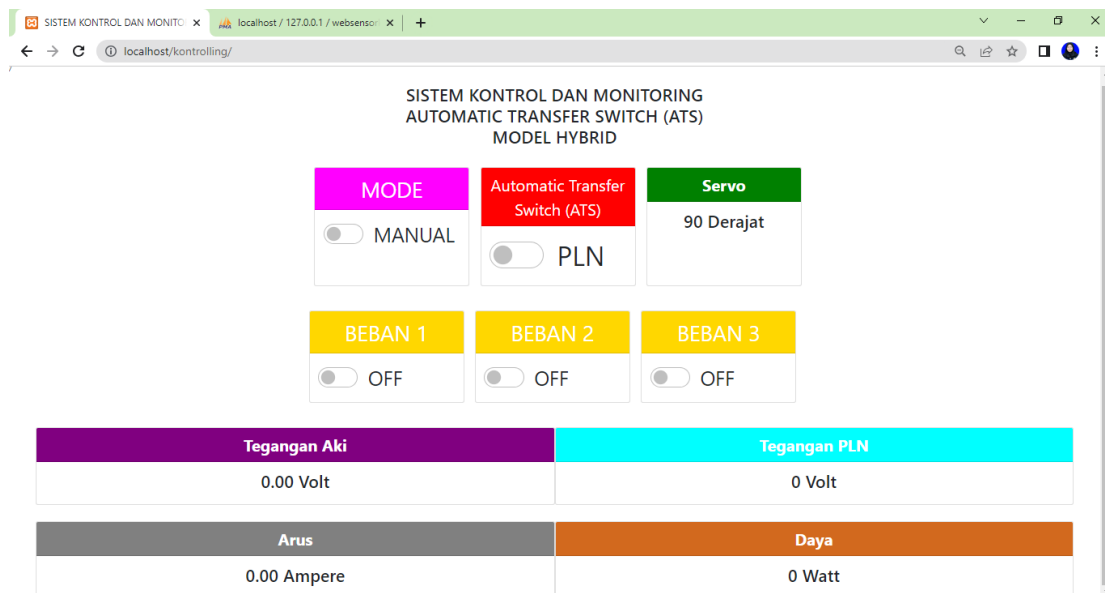
A. Hasil Perancangan Sistem



Gambar 5. Hasil Perancangan Hardware

Gambar 5. menunjukkan hasil dari perancangan perangkat keras sistem kontrol dan monitoring *automatic transfer switch (ATS)* model *hybrid* berbasis IoT. Perangkat keras tersebut memiliki komponen-komponen seperti mikrokontroler arduino uno, ESP32 Devkit, *module relay 4 channel*, relay AC Mk2P, sensor PZEM 004tv30, LCD i2c, panel surya 20WP, inverter, *solar charger controller*, baterai, dan beban.

B. Hasil Perancangan Perangkat Lunak



Gambar 6. Tampilan Website Sistem

Pada Gambar 6, merupakan tampilan *website* sistem kontrol dan monitoring. *Website* ini berfungsi sebagai penerapan inovasi *internet of things* dimana, *website* dapat mengontrol mode yang digunakan antara manual dan otomatis untuk suplai energi listrik terhadap beban. Apabila mode manual aktif maka pengguna dapat memilih suplai energi listrik baik menggunakan PLTS atau PLN. Sedangkan apabila mode otomatis aktif maka sensor tegangan akan bekerja membaca tegangan *accu* untuk mengetahui PLTS dapat mensuplai

beban atau tidak. Apabila tegangan *accu* tidak mampu mensuplai energi listrik maka dengan otomatis sistem ini akan beralih ke sumber cadangan yaitu sumber PLN. Selain itu, beban pada sistem ini dapat dikontrol melalui website juga. Sedangkan untuk monitoringnya terdiri yakni, mode yang digunakan, sumber energi listrik, beban, posisi sudut servo, tegangan aki, tegangan AC, arus AC dan daya AC yang terbaca oleh sensor PZEM 004tv30. *Website* ini dapat digunakan secara *real time* pada jaringan yang sesuai. Data hasil kontrol dan monitoring akan dikirimkan ke *database* xampp mysql.

Pada pengujian tampilan *website* nilai yang dikirimkan dengan nilai yang diukur mengalami perbandingan. Perbandingan tersebut dapat ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Pembacaan oleh Sensor

Hari Ke-	Tegangan	Arus	Daya
1	221	0,06	6,842
2	210,789	0,020	2,052
3	224	0,027	4,105
4	216,894	0,061	10,263
5	217	0,0478	8,894

Adapun nilai hasil pengukuran oleh alat ukur powermeter sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengukuran oleh Alat Ukur

Hari Ke-	Tegangan	Arus	Daya
1	220,468	0,0476	6,626
2	211,2	0,021632	1,7
3	224,5	0,0284	3,726
4	217,178	0,0638	10,5
5	216,831	0,050	8,426

Pembacaan data oleh sensor dan pengukuran data dengan alat ukur dipengaruhi dengan nilai error, koneksi jaringan, kecepatan server, *overhead* protokol dan delay antara mikrokontroler dengan *website* dan *database*. Prosentase nilai *error* dapat dihitung dengan persamaan 3.

C. Hasil Pengujian Solar Tracker

Pengujian dilakukan setelah semua sistem, termasuk sistem elektronik dan mekanik, selesai dan digabungkan menjadi satu sistem pelacak surya.. Keseluruhan komponen akan dirangkai dan dilakukan pengujian arduino uno akan diprogram untuk mengolah data supaya menghasilkan output yang diinginkan. Arduino uno juga akan mengirimkan data yang sudah diolah ke mikrokontroler ESP32 untuk menampilkan data tersebut di *website* dan *database*. Pada pengujian *solar tracker* menggunakan metode perbandingan penggunaan *solar tracker single axis* dan solar statis 90 derajat untuk mengetahui keoptimalan *solar tracker single axis* dalam penyerapan sinar matahari. Adapun rata-rata data hasil pengujian selama 5 hari ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Pengujian Solar Tracker 5 Hari

Percobaan Ke-	V (V)	I (A)	P (W)
1	19,196	0,820	15,918
2	19,409	0,791	15,540
3	19,344	0,861	16,813
4	19,321	0,850	16,629
5	19,044	0,691	13,306
Rata-rata	19,2628	0,8026	15,6412

Sedangkan untuk data solar statis selama 5 hari dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Pengujian Solar Statis selama 5 Hari

Percobaan Ke-	V (V)	I (A)	P (W)
1	19,023	0,767	14,752
2	19,261	0,729	14,215
3	19,217	0,828	16,082

4	19,225	0,833	16,221
5	18,062	0,579	10,645
Rata-rata	18,9576	0,7472	14,383

Hasil pengujian lama pengisian baterai selama 5 hari tanpa beban dapat dilihat pada Tabel 6.

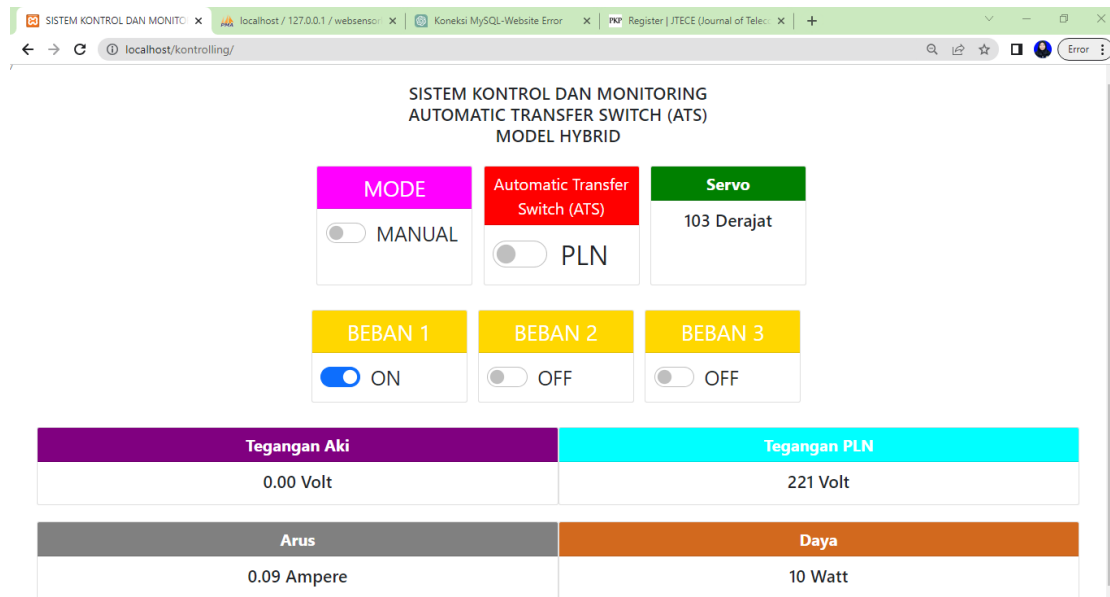
Tabel 6. Hasil Pengujian Lama Pengisian Baterai

No.	Hari ke-	Lama Pengisian (Jam)
1	Pertama	4,5
2	Kedua	3
3	Ketiga	4
4	Keempat	4
5	Kelima	4,5
	Rata-rata	4 Jam

Dari Tabel 6 rata-rata waktu pengisian baterai selama 5 hari dengan kondisi awal baterai sebesar 60% pengujian membutuhkan waktu 4 jam. Pengisian baterai ini dilakukan mulai pukul 07.00-16.00.

D. Hasil Pengujian Sistem Automatic Transfer Switch (ATS)

Pengujian ATS dilakukan selama 5 hari dan data tersebut ditampilkan dalam tabel di bawah ini. Dalam pengujian ATS time respon selama pengujian proses *switching* selama 5-7 detik. *Time respon* ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, koneksi jaringan, kecepatan server, *overhead* protokol dan delay antara mikrokontroler dengan *website* dan *database*. Pengujian sistem IoT dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengujian IoT Peralihan Suplai Energi Listrik PLTS ke PLN

Adapun pengujian *Automatic transfer switch* pada hari pertama dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Data Hari Pertama Pengukuran Sensor Tegangan dan Alat Ukur

Pukul	Beban	Sensor Accu (V)	Multimeter Accu (V)	PLTS	PLN
07.00	OFF	12,56	12,52	ON	OFF
07.30	OFF	12,56	12,52	ON	OFF
08.00	OFF	12,56	12,52	ON	OFF
08.30	OFF	12,56	12,52	ON	OFF

09.00	OFF	12,56	12,52	ON	OFF
09.30	OFF	12,56	12,52	ON	OFF
10.00	ON	12,56	12,52	ON	OFF
10.30	ON	12,57	12,52	ON	OFF
11.00	ON	12,56	12,52	ON	OFF
11.30	ON	12,54	12,47	ON	OFF
12.00	ON	12,85	12,80	ON	OFF
12.30	ON	12,85	12,80	ON	OFF
13.00	ON	12,04	12,00	ON	OFF
13.30	ON	11,78	11,74	ON	OFF
14.00	ON	11,20	11,15	ON	OFF
14.30	ON	11,07	11,00	ON	OFF
15.00	ON	10,50	10,47	ON	OFF
15.30	ON	10,15	10,10	OFF	ON
16.00	ON	10,00	10,00	OFF	ON
Rata-rata		12,00	11,958		

Pengambilan data dilakukan pada pukul 12.00 WIB, dan nilai sensor tertinggi yang dihasilkan oleh aki sebesar 12,85 volt, seperti terlihat pada Tabel 7. Pengambilan data dilakukan pada pukul 16.00 WIB dengan nilai sensor terkecil sebesar 10,15 Volt. PLTS merupakan sumber yang dimanfaatkan pada hari pertama, mulai pukul 10.00 hingga 15.00 WIB. Namun pada pukul 15.30-16.00 WIB, sensor tegangan DC menunjukkan bahwa tegangan baterai tidak mendeteksi kurang dari 10 volt, jadi sumbernya adalah PLN. Beban yang digunakan sebesar 10 watt.

Tabel 8. Data Hari Kedua Pengukuran Sensor Tegangan dan Alat Ukur

Pukul	Beban	Sensor Accu (V)	Multimeter Accu(V)	PLTS	PLN
07.00	OFF	12,42	12,39	ON	OFF
07.30	OFF	12,41	12,39	ON	OFF
08.00	OFF	12,41	12,39	ON	OFF
08.30	OFF	12,42	12,39	ON	OFF
09.00	OFF	12,42	12,39	ON	OFF
09.30	OFF	12,45	12,47	ON	OFF
10.00	ON	12,25	12,27	ON	OFF
10.30	ON	12,01	12,05	ON	OFF
11.00	ON	11,89	11	ON	OFF
11.30	ON	11,84	11,8	ON	OFF
12.00	ON	11,84	11,86	ON	OFF
12.30	ON	11,85	11,87	ON	OFF
13.00	ON	11,4	11,42	ON	OFF
13.30	ON	11,34	11,39	ON	OFF
14.00	ON	10,15	10,1	OFF	ON
14.30	ON	10,14	10,12	OFF	ON
15.00	ON	10,15	10,11	OFF	ON
15.30	ON	10,19	10,1	OFF	ON
16.00	ON	10,17	10,19	OFF	ON
Rata-rata		11,565	11,510		

Berdasarkan Tabel 8 nilai tegangan terbesar yang dihasilkan oleh accu (aki) adalah 11,84 volt. Data ini diambil pada pukul 12:00 WIB. Sementara itu, nilai tegangan terkecil yang dihasilkan oleh accu adalah 10,14 volt. Data ini diambil pada pukul 14:30 WIB. Beban yang digunakan pada hari kedua sebesar 3 watt.

PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) adalah sumber daya yang digunakan pada hari kedua dari pukul 07:00 hingga 13:30 WIB. Namun, pada rentang waktu pukul 13:00 hingga 16:00 WIB, sumber daya yang digunakan adalah PLN (Perusahaan Listrik Negara). Hal ini disebabkan oleh sensor tegangan DC yang mendeteksi bahwa tegangan aki kurang dari atau sama dengan 10 volt.

Tabel 9. Data Hari Ketiga Pengukuran Sensor Tegangan dan Alat Ukur

Pukul	Beban	Sensor Accu (V)	Multimeter Accu(V)	PLTS	PLN
07.00	OFF	10,17	10,15	OFF	ON
07.30	OFF	10,29	10,32	OFF	ON
08.00	OFF	10,48	10,5	OFF	ON
08.30	OFF	10,55	10,58	OFF	ON
09.00	OFF	10,7	10	OFF	ON
09.30	OFF	11,02	11,07	ON	OFF
10.00	ON	11,2	11,22	ON	OFF
10.30	ON	11,29	11,3	ON	OFF
11.00	ON	11,35	11,37	ON	OFF
11.30	ON	11,4	11,42	ON	OFF
12.00	ON	11,5	11,53	ON	OFF
12.30	ON	11,55	11,57	ON	OFF
13.00	ON	11,63	11,65	ON	OFF
13.30	ON	11,7	11,7	ON	OFF
14.00	ON	11,72	11,75	ON	OFF
14.30	ON	11,7	11,72	ON	OFF
15.00	ON	11,74	11,73	ON	OFF
15.30	ON	11,74	11,73	ON	OFF
16.00	ON	11,74	11,73	ON	OFF
Rata-rata		11,235	11,212		

Berdasarkan Tabel 9 di atas, aki (baterai) memiliki tegangan tertinggi sebesar 11,74 volt. Informasi ini dikumpulkan pada pukul 16.00 WIB. Sementara itu, nilai tegangan terkecil yang dihasilkan oleh baterai tersebut adalah 10,17 volt. Informasi ini dikumpulkan pada pukul 07:00 WIB.pada hari ketiga menggunakan beban sebesar 5 watt.

PLN adalah sumber daya yang digunakan pada hari ketiga dari pukul 07:00 hingga 13:30 WIB. Namun sumber daya yang dimanfaatkan adalah PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) dari pukul 09:30 hingga 16:00 WIB. Hal ini dikarenakan tegangan baterai kurang dari atau sama dengan 10 volt tidak terdeteksi oleh sensor tegangan DC.

Tabel 10. Data Hari Keempat Pengukuran Sensor Tegangan dan Alat Ukur

Pukul	Beban	Sensor Accu (V)	Multimeter Accu(V)	PLTS	PLN
07.00	OFF	11,74	11,7	OFF	ON
07.30	OFF	11,79	11,8	OFF	ON
08.00	OFF	11,8	11,9	OFF	ON
08.30	OFF	11,9	11,9	OFF	ON
09.00	OFF	11,96	11,9	ON	OFF
09.30	OFF	11,96	11,9	ON	OFF
10.00	ON	11,45	11,47	ON	OFF
10.30	ON	11,3	11,35	ON	OFF
11.00	ON	11,15	11,18	ON	OFF
11.30	ON	11,02	11,05	ON	OFF
12.00	ON	10,8	11	ON	OFF
12.30	ON	10,15	10	OFF	ON
13.00	ON	10,02	10	OFF	ON
13.30	ON	10,1	10,1	OFF	ON
14.00	ON	10,07	10	OFF	ON
14.30	ON	10,1	10,13	OFF	ON
15.00	ON	10,15	10,1	OFF	ON
15.30	ON	10,19	10,1	OFF	ON
16.00	ON	10,19	10,1	OFF	ON
Rata-rata		10,933	10,930		

Berdasarkan Tabel 10 nilai sensor terbesar yang dihasilkan baterai adalah 11,96 volt, data diambil pada pukul 09:00 WIB. Pengambilan data dilakukan pada pukul 14.30 WIB dengan nilai sensor terkecil sebesar 10,01 Volt. PLTS adalah sumber yang digunakan pada hari keempat dari pukul 09.00 hingga 12.00 WIB.

Namun pada pukul 12.30 hingga 16.00 WIB, sensor tegangan DC menunjukkan bahwa tegangan baterai kurang dari 10 volt, jadi sumbernya adalah PLN. Beban yang digunakan pada Tabel 4 sebesar 15 watt.

Tabel 11. Data Hari Kelima Pengukuran Sensor Tegangan dan Alat Ukur

Pukul	Beban	Sensor Accu (V)	Multimeter Accu (V)	PLTS	PLN
07.00	OFF	10,19	10,10	OFF	ON
07.30	OFF	10,25	10,20	OFF	ON
08.00	OFF	10,38	10,39	OFF	ON
08.30	OFF	10,45	10,50	OFF	ON
09.00	OFF	10,50	10,50	ON	OFF
09.30	OFF	10,65	10,68	ON	OFF
10.00	ON	10,75	10,78	ON	OFF
10.30	ON	11,02	11,05	ON	OFF
11.00	ON	11,15	11,18	ON	OFF
11.30	ON	11,02	11,05	ON	OFF
12.00	ON	10,8	11	ON	OFF
12.30	ON	10,15	10	OFF	ON
13.00	ON	10,02	10	OFF	ON
13.30	ON	10,1	10,1	OFF	ON
14.00	ON	10,07	10	OFF	ON
14.30	ON	10,1	10,13	OFF	ON
15.00	ON	10,15	10,1	OFF	ON
15.30	ON	10,19	10,1	OFF	ON
16.00	ON	10,19	10,1	OFF	ON
Rata-rata		10,427	10,418		

Pengambilan data dilakukan pada pukul 11.00 WIB, dan nilai sensor tertinggi yang dihasilkan oleh baterai ditunjukkan pada Tabel 11 di atas sebesar 11,15 volt. Pengambilan data dilakukan pada pukul 14.30 WIB dengan nilai sensor terkecil sebesar 10,01 Volt. PLTS adalah sumber yang digunakan pada hari kelima dari pukul 09.00 hingga 12.00 WIB. Namun pada pukul 12.30 hingga 16.00 WIB, sensor tegangan DC menunjukkan bahwa tegangan baterai kurang dari 10 volt, jadi sumbernya adalah PLN. Beban yang digunakan pada hari kelima sebesar 13 watt.

V. KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa desain sistem ATS bekerja secara efektif dalam peralihan sumber energi listrik secara manual maupun otomatis antara pembangkit listrik tenaga surya dan sumber PLN. Pada instalasi yang diteliti, *time respon* peralihan ini selama 5-7 detik dan berjalan dengan lancar serta sesuai harapan. Dalam perancangan sistem ini relay MK2P terhubung ke *relay module 4 channel* untuk perpindahan sumber instalasinya. Sensor tegangan DC atau *accu* dapat bekerja dengan baik untuk mendeteksi ambang batas tegangan *accu* yakni ≤ 10 volt. Selain itu, sistem ATS ini dapat mengontrol beban yang digunakan melalui *website* yang sudah terprogram sebelumnya. Hasil pengujian pada hari pertama dengan beban sebesar 10 watt mampu disuplai energy listrik dari PLTS selama 6 jam. Pada pengujian hari kedua dengan beban 3 watt mampu disuplai PLTS selama 6 jam. Pengujian hari ketiga menggunakan beban sebesar 15 watt mampu disuplai energy listrik dari PLTS selama 2 jam. Pada pengujian hari kelima dengan beban 16 watt mampu disuplai energy listrik dari PLTS selama 2 jam. Sedangkan pada perancangan *solar tracker* menggunakan 2 sensor LDR untuk melacak arah pergerakan matahari dengan bantuan motor servo MG996R untuk menggerakkan solar panelnya. *Solar tracker* bekerja optimum dalam mengoptimalisasi tegangan keluaran dari pv module. Pada penelitian hari pertama didapatkan perhitungan peningkatan daya menggunakan *solar tracker* sebesar 7,9%. Perhitungan peningkatan daya pada hari kedua sebesar 9,3%. Perhitungan peningkatan daya pada hari ketiga sebesar 4,5%. Perhitungan peningkatan daya pada hari keempat sebesar 2,5%. Perhitungan peningkatan daya pada hari kelima sebesar 24%. Rata-rata peningkatan daya menggunakan *solar tracker* selama 5 hari sebesar 8,7%. Proses *charging* menggunakan *solar tracker* juga lebih cepat apabila tidak menggunakan beban dengan kondisi baterai 60% selang waktu yang dibutuhkan adalah 4 jam. Monitoring sudut servo, arus AC, tegangan AC, tegangan DC, dan daya AC pada *website* sudah secara *reall time*. Pembacaan data oleh sensor dan pengukuran data dengan alat ukur dipengaruhi dengan nilai *error*, koneksi jaringan, kecepatan server, *overhead* protokol dan *delay* antara mikrokontroler dengan *website* dan *database*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Rachmi, B. Prakoso, Hanny Berchmans, I. Devi Sara, and Winne, *Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS atap di Indonesia*, II. ESDM, 2020. [Online]. Available: <https://drive.esdm.go.id/wl/?id=XOegh8pXO9FMjeb14x0joDD6hIZe94Fm>
- [2] A. STEFANIE and F. C. SUCI, "Analisis Performansi PLTS Off-Grid 600 Wp menggunakan Data Akuisisi berbasis Internet of Things," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 9, no. 4, p. 761, 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i4.761.
- [3] D. dan H. K. Praditidhina, Elisabeth, Rosana, *Penggunaan Arduino Uno dan Common-Coding*. Surabaya: Cipta Media Nusantara, 2016.
- [4] B. H. Purwoto, J. Jatmiko, M. A. Fadilah, and I. F. Huda, "Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 18, no. 1, pp. 10–14, 2018, doi: 10.23917/emit.v18i01.6251.
- [5] M. T. Tamam and R. Romadhoni, "Pengaman Pintu Gedung Otomatis Menggunakan E-KTP Berbasis NodeMCU dan RFID-RC522 dengan Notifikasi Whatsapp Application," *J. Telecommun. Electron. Control Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 22–30, 2023, doi: 10.20895/jtece.v5i1.910.
- [6] K. Masykuroh, F. T. Syifa, and F. A. Pamungkas, "Rancang Bangun Prototipe Pemantau Kekurangan Air dan Pengaturan Pakan Ikan pada Akuarium Menggunakan Nodemcu ESP32," *J. Telecommun. Electron. Control Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 31–40, 2023, doi: 10.20895/jtece.v5i1.917.
- [7] M. Rianti, "Rancang Bangun Alat Ukur Intensitas Cahaya Dengan Menggunakan Sensor Bh1750 Berbasis Arduino," *Tugas Akhir. Dep. Fis. Fak. Mat. dan Ilmu Pengetah. Alam.*, p. Universitas Sumatera Utara. Medan, 2017.
- [8] A. Jackson, "Foresight," *Drugs and the Future: Brain Science, Addiction and Society*. pp. 7–10, 2006. doi: 10.1016/B978-012370624-9/50005-0.
- [9] A. Kurniawan, A. Taqwa, and Y. Bow, "PLC Application as an Automatic Transfer Switch for on-grid PV System; Case Study Jakabaring Solar Power Plant Palembang," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1167, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1167/1/012026.
- [10] M. Asmazori, "Rancang Bangun Alat Pendeteksi NOx dan CO Berbasis Mikrokontroler ESP32 dengan Notifikasi Via Telegram dan Suara," *JITCE (Journal Inf. Technol. Comput. Eng.)*, vol. 5, no. 02, pp. 57–62, 2021, doi: 10.25077/jitce.5.02.57-62.2021.
- [11] D. Andesta and R. Ferdian, "Sistem Keamanan Sepeda Motor Berbasis Mikrokontroler dan Modul GSM," *J. Inf. Technol. Comput. Eng.*, vol. 2, no. 02, pp. 51–63, 2018, doi: 10.25077/jitce.2.02.51-63.2018.
- [12] M. F. . Agung, E. Kurniawan, and S. Yuwono, "Perancangan Ups Berbasis Sumber Energi Listrik Terbarukan Dan PIn Termonitor Perangkat Iot," *e-Proceeding Eng.*, vol. 7, no. 3, p. 8730, 2020.
- [13] N. Kurniawan, "Electrical Energy Monitoring System and Automatic Transfer Switch (ATS) Controller with the Internet of Things for Solar Power Plants," *J. Soft Comput. Explor.*, vol. 1, no. 1, pp. 16–23, 2020, doi: 10.52465/josce.v1i1.2.
- [14] C. M. F. Vermast, Misty E., Sebok, Susan L., Freud, Steven M, Jennifer T, "Discovering Computers 2018 (Digital Technology, Data and Devices)," in *Implementing Culture Change*, J. Sadargursky, Ed., Boston, USA: Cengage Learning, 2018, p. 114. [Online]. Available: <https://books.google.com.ng/books?id=DAAxDgAAQBAJ&printsec=copyright&hl=en#v=onepage&q&f=false>
- [15] H. Maulana, "Analisis Dan Perancangan Sistem Replikasi Database Mysql Dengan Menggunakan Vmware Pada Sistem Operasi Open Source," *InfoTekJar (Jurnal Nas. Inform. dan Teknol. Jaringan)*, vol. 1, no. 1, pp. 32–37, 2016, doi: 10.30743/infotekjar.v1i1.37.
- [16] R. Khwanrit, S. Kittipiyakul, J. Kudtonagngam, and H. Fujita, "Accuracy Comparison of Present Low-cost Current Sensors for Building Energy Monitoring," *2018 Int. Conf. Embed. Syst. Intell. Technol. Int. Conf. Inf. Commun. Technol. Embed. Syst. ICESIT-ICICTES 2018*, pp. 3–8, 2018, doi: 10.1109/ICESIT-ICICTES.2018.8442066.