



Rancang Bangun *Battery Charger* Menggunakan *Solar Panel System* Berbasis *Internet of Things (IoT)*

Dimas Maulana^{1*}, Diana Alia², Akhmad Kasan Gupron³

¹⁻³Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

*Korespondensi penulis: dimasmaulana609@gmail.com

Abstract. The aim of this study is to design a battery charging system using solar panels, integrated with an IoT-based monitoring system to improve efficiency and ease of supervision. The system utilizes the photovoltaic effect to convert solar energy into electrical energy, which is then stored in a battery through the regulation of a solar charge controller. The main components in this design include a solar panel, lead-acid battery, ESP32 microcontroller, current and voltage sensors, and the Blynk application for remote monitoring. The research method involves several stages, including the design of hardware such as solar panels, current and voltage sensors, and a step-down regulator, as well as software development using the Blynk platform and ESP32 programming. Test results show that the system is capable of achieving charging efficiencies between 89.45% and 99.57%, with optimal performance under clear weather and maximum sunlight conditions. The IoT system performs well up to a distance of 10–15 meters, with an average data transmission delay of less than 1.5 seconds. Therefore, this device proves to be effective as an independent battery charging and energy monitoring solution in locations without permanent electricity access.

Keywords: Battery Charger, IoT, Monitoring, Renewable Energi, Solar Panel.

Abstrak. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang sistem pengisian daya baterai menggunakan panel surya, yang dilengkapi dengan sistem *monitoring* berbasis IoT untuk meningkatkan efisiensi dan kemudahan pemantauan. Sistem ini memanfaatkan prinsip efek fotovoltaiik untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik, kemudian menyimpannya dalam baterai melalui pengaturan *solar charger controller*. Komponen utama dalam perancangan ini meliputi panel surya, *battery lead acid*, ESP32 sebagai mikrokontroler, sensor arus dan tegangan, serta aplikasi *Blynk* untuk *monitoring* jarak jauh. Metode penelitian yang digunakan meliputi tahapan perancangan perangkat keras (*hardware*) seperti panel surya, sensor arus dan tegangan, step-down regulator, serta perancangan perangkat lunak (*software*) menggunakan platform *Blynk* dan pemrograman ESP32. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan efisiensi pengisian antara 89,45% hingga 99,57%, dengan performa terbaik pada cuaca cerah dan intensitas cahaya maksimal. Sistem IoT berfungsi dengan baik hingga jarak 10–15 meter, dengan *delay* pengiriman data rata-rata di bawah 1,5 detik. Dengan demikian, alat ini terbukti efektif sebagai solusi pengisian baterai mandiri dan *monitoring* energi di lokasi tanpa akses listrik permanen.

Kata Kunci: Battery Charger, Energi Terbarukan, IoT, Monitoring, Solar Panel.

1. PENDAHULUAN

Kapal adalah kendaraan air dengan jenis dan bentuk tertentu yang mengangkut penumpang dan barang melalui perairan menuju kawasan tertentu. Menurut sejarah, kapal menjadi kendaraan utama pada saat penjelajahan samudera. Kapal juga bisa diartikan bentuk konstruksi yang dapat terapung air dan mempunyai sifat muat berupa penumpang atau barang yang sifat gerakannya bisa dengan dayung, angin, atau mesin. (Simanjuntak, Amirrudin, & Kiryanto, 2018).

Pada keadaan cuaca cerah, permukaan bumi menerima sekitar 1000 watt energi matahari per-meter persegi. Kurang dari 30 % energi tersebut dipantulkan kembali ke angkasa,

47% dikonversikan menjadi panas, 23% digunakan untuk seluruh sirkulasi kerja yang terdapat di atas permukaan bumi, sebagian kecil 0,25% ditampung angin, gelombang dan arus dan masih ada bagian yang sangat kecil 0,025 % disimpan melalui proses fotosintesis di dalam tumbuh-tumbuhan. (Dilla, et al., 2022).

Energi matahari merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang melimpah dan ramah lingkungan, sehingga sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai solusi dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang tidak terbarukan. Salah satu cara untuk mewujudkan hal ini adalah melalui penggunaan teknologi *solar panel*, yang tidak hanya mampu mengoptimalkan pemanfaatan energi matahari, tetapi juga berkontribusi dalam mengurangi emisi karbon secara signifikan.

Sel surya (*Solar Panel*) adalah suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm, yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan kutub negatif. Prinsip dasar pembuatan sel surya adalah memanfaatkan efek fotovoltai, yaitu suatu efek yang dapat mengubah langsung cahaya matahari menjadi energi listrik. Prinsip ini pertama kali ditemukan oleh Becquerel, seorang ahli fisika berkebangsaan Perancis tahun 1839. Pada saat ini silikon merupakan bahan yang banyak digunakan untuk pembuatan sel surya. Agar dapat digunakan sebagai bahan sel surya, silikon dimurnikan hingga satu tingkat yang tinggi. (Subandi & Hani, 2015).

Keluaran dari panel surya ini sudah dapat digunakan langsung ke beban seperti mengisi daya baterai yang memerlukan sumber tegangan *direct current* (DC) dengan konsumsi arus yang kecil. Agar energi listrik yang dihasilkan juga dapat digunakan pada kondisi – kondisi seperti pada malam hari (kondisi saat panel surya tidak disinari cahaya matahari), maka keluaran dari panel surya ini harus di hubungkan ke sebuah media penyimpanan (*storage*) seperti baterai. Tetapi ini tidak langsung dihubungkan begitu saja dari panel surya ke baterai, tetapi harus dihubungkan ke rangkaian *solar charger controller*, dimana didalam rangkaian tersebut terdapat rangkaian pengisi baterai otomatis (*Automatic charger*). (Haryanto, Charles, & Pranoto, 2021).

Untuk menambah efisiensi pada kerja alat dan pengguna bisa dengan mudah memantau atau *monitoring* kerja atau *troubleshooting* pada panel surya maka perlu ditambahkan teknologi terbarukan bernama *Internet of Things (IoT)*. *Internet of Things (IoT)* sendiri adalah interkoneksi perangkat yang memiliki kemampuan *sensing* (penginderaan) dan *actuating* (pengambilan tindakan) serta berbagi informasi lintas *platform* melalui suatu *unified framework* (kerangka kerja terpadu). Konsep ini bertujuan agar komputer dapat memperoleh

informasi tanpa intervensi manusia, dapat berinteraksi dengan dunia secara fisik, dan menggunakan standar internet yang ada untuk menyediakan layanan transfer informasi, analisis, aplikasi dan komunikasi. *Internet of Things* terdiri dari tiga elemen penyusun, yaitu *Hardware, Middleware dan Presentation*. (Saputra,2024).

Adapun cara kerja dari *Internet of Things (IoT)* sendiri yaitu dengan memanfaatkan sebuah argumentasi pemrograman yang dimana tiap-tiap perintah argumennya itu menghasilkan sebuah interaksi antara sesama mesin yang terhubung secara otomatis tanpa campur tangan manusia dan dalam jarak berapa pun. Internetlah yang menjadi penghubung di antara kedua interaksi mesin tersebut, sementara manusia hanya bertugas sebagai pengatur dan pengawas bekerjanya alat tersebut.. (Metandi, Nurcahyono, & Najib, 2022).

2. TINJAUAN PUSTAKA

Charger Controller

Charger Controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Charge controller* mengatur *overcharging* (Kelebihan pengisian karena baterai sudah penuh) dan kelebihan voltase dari generator. Kelebihan voltase dan arus saat pengisian akan mengurangi umur baterai. *Charge controller* menerapkan teknologi *Pulse width Modulation* (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban.

Battery Lead Acid

Fungsi dari baterai adalah untuk memasok sumber daya listrik yang cukup ke peralatan, seperti untuk menghidupkan mesin (*starter*) dan memasok sistem pengapian untuk memberi sumber tegangan untuk penerangan lampu dan kebutuhan tegangan lainnya di mobil atau sepeda motor. Dalam penelitian ini, penggunaan *Battery Lead Acid* NP 20-12 digunakan untuk menampung daya yang dihasilkan oleh *solar panel*.

ESP32

ESP32 adalah sebuah Mikrokontroler yang merupakan pengembangan dan menjadi penerus dari mikrokontroler ESP8266. Terdapat perbedaan antara ESP32 dan ESP8266, diantaranya jumlah GPIO pin (ADC/DAC) yang terdapat pada ESP32 berjumlah 36 (18/2) sedangkan jumlah pin pada ESP8266 hanya berjumlah 17 (1/-). Pada mikrokontroler ESP32 sudah terdapat modul WiFi, sehingga penggunaanya bisa mengontrol mikrokontroler dari jarak jauh menggunakan jaringan Internet.

Blynk

Blynk adalah sebuah layanan aplikasi yang digunakan untuk mengontrol mikrokontroler dari jaringan internet. Aplikasi yang disediakan oleh *blynk* sendiri masih butuh disusun sesuai dengan kebutuhan. Penggunaan aplikasi *blynk* pada penelitian ini didasari oleh mudahnya implementasi program *blynk* dengan mikrokontroler, mudahnya pemasangan pada smartphone, penyusunan tampilan aplikasi bisa disesuaikan sendiri sesuai dengan selera, dan aplikasi *blynk* ini gratis. Dalam penelitian ini, menggunakan aplikasi *Blynk* digunakan sebagai aplikasi monitoring daya yang dihasilkan dan juga daya yang tersimpan pada *battery*.

ACS712

Sensor arus ACS712 adalah *Hall Effect current sensor*. *Hall effect allegro ACS712* merupakan sensor yang presisi sebagai sensor arus AC atau DC dalam pembacaan arus didalam dunia industri, otomotif, komersil dan sistem-sistem komunikasi. Sensor ini memiliki pembacaan dengan ketepatan yang tinggi, karena didalamnya terdapat rangkaian *low- offset linear Hall* dengan satu lintasan yang terbuat dari tembaga.

ADS1115

ADS1115 adalah sebuah modul yang berfungsi untuk melakukan fungsi konversi dari sinyal analog ke digital. Modul ADS1115 terdiri dari 4 input sinyal analog. Modul ADC *converter external* ADS1115 menyediakan presisi 16-bit pada 860 sampel / *second over I2C* . Cara kerja ADS1115 yaitu input analog yang telah diterima kemudian memasuki rangkaian *multiplexer* yang akan memilih data sebelum diteruskan ke blok *Programmable Gain Amplifier* (PGA). Pada blok PGA sinyal tersebut akan dikuatkan kemudian dikirim ke rangkaian ADC untuk dikonversi.

DC Voltage Sensor

Sensor tegangan ini merupakan besaran analog yang dapat diolah, diproses atau dikonversi dalam bentuk lainya sedangkan dalam dunia digital tegangan akan dikonversi dengan *analog to digital converter* (ADC). Sensor adalah transduser atau pengubah parameter menjadi besaran analog representasinya. Untuk membaca sensor dengan *output* tegangan analog, Esp32 menggunakan pin analog terhubung dengan sebuah ADC dengan resolusi 10 bit yang akan menghasilkan angka digital 0-4095 sebagai representasi tegangan 0-3,3V. Tegangan analog yang dapat diterima pin analog arduino maksimal adalah 3,3VDC.

Liquid Crystal Display (LCD)

Liquid Crystal Display (LCD) 16x2, merupakan salah satu jenis display elektronik yang dibuat menggunakan teknologi CMOS *logic* yang dalam penelitian ini dimanfaatkan untuk menampilkan informasi sistem. *Liquid Crystal Display (LCD)* adalah jenis media tampilan atau display dari bahan cairan kristal sebagai penampil utama. LCD I2C 16x2 dapat menampilkan sebanyak 32 karakter yang terdiri dari 2 baris dengan tiap baris menampilkan 16 karakter. Di perancangan alat ini, LCD berfungsi untuk menampilkan data voltase dan arus yang terbaca.

Step Down DC

Modul DC *step down* LM2596 adalah modul yang memiliki IC LM2596 sebagai komponen utamanya. Modul DC *step down* LM2596 merupakan modul penurun tegangan masukan DC menjadi tegangan DC lainnya yang lebih rendah.

Solar Panel

Sel surya (*Solar Panel*) adalah kumpulan sel *photovoltaic* yang dapat mengkonversi sinar matahari menjadi listrik. Ketika memproduksi panel surya, produsen harus memastikan bahwa sel-sel surya saling terhubung secara elektrik antar satu dengan yang lain pada sistem tersebut. Sel surya juga perlu dilindungi dari kelembaban dan kerusakan mekanis karena hal ini dapat merusak efisiensi panel surya secara signifikan, dan menurunkan masa pakai dari yang diharapkan.

Teori Konversi Energi

Teori konversi energi adalah prinsip dasar dalam fisika yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dihancurkan, tetapi hanya dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lain. Ini dikenal sebagai hukum kekekalan energi, yang merupakan salah satu hukum dasar dalam fisika. Dalam proses konversi energi, jumlah total energi tetap konstan, meskipun energi tersebut dapat berubah bentuk. Teori konversi energi mengacu pada prinsip-prinsip yang menjelaskan bagaimana energi dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lain. Konversi energi sangat penting dalam berbagai proses fisik dan teknologi, serta dalam memahami bagaimana energi digunakan dan dipertahankan dalam sistem tertutup.

Hubungan Cos ϕ dan Watt

Daya aktif (watt) adalah energi listrik yang benar-benar dikonversikan menjadi kerja nyata sedangkan $\cos \phi$ ($\cos \phi$) adalah faktor daya dalam

sistem listrik yang menunjukkan seberapa efisien energi listrik. $\cos \phi$ adalah perbandingan antara daya aktif (watt) dengan daya semu (volt-ampere atau VA).

3. METODE PENELITIAN

Dalam penyusunan penelitian ini penulis menggunakan metode penelitian eksperimen. Perancangan sistem merupakan tahapan untuk mendefinisikan atau merancang sesuatu melalui langkah-langkah yang saling berkaitan guna mencapai tujuan yang sama. Sementara itu, metode penelitian eksperimen digunakan untuk menguji hubungan sebab-akibat antar variabel tertentu dengan mengendalikan atau memanipulasi variabel bebas. Perangkat lunak yang digunakan adalah *Arduino IDE*. Rencana pengujian pada penelitian rancang bangun *charger battery* menggunakan *solar panel system* berbasis *Internet of Things* menjadi sasaran uji rencana pada penelitian ini. Agar lebih efisien dalam menghasilkan energi listrik, kita dapat menggunakan cahaya matahari yang diubah menjadi energi listrik oleh sel surya atau *solar cell system* dan juga agar mempermudah *monitoring* seberapa arus yang masuk, kita menggunakan *IoT* yang mana bisa kita akses melalui *smartphone* serta dapat menjaga *battery health* atau masa baterai agar lebih tahan lama dikarenakan jika sudah *overload* dikala proses pengisian baterai akan langsung *cut out* secara otomatis.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Coba Produk

Pengujian Statis

a) Pengujian Sensor Arus

Pengujian sensor arus dengan cara menghubungkan *solar panel* ke rangkaian alat dan melihat pada serial *monitor* apakah sensor arus berfungsi mengalirkan arus yang dihasilkan oleh *solar panel* atau tidak. Gambar dibawah ini menunjukkan jika sensor arus bekerja dengan baik.

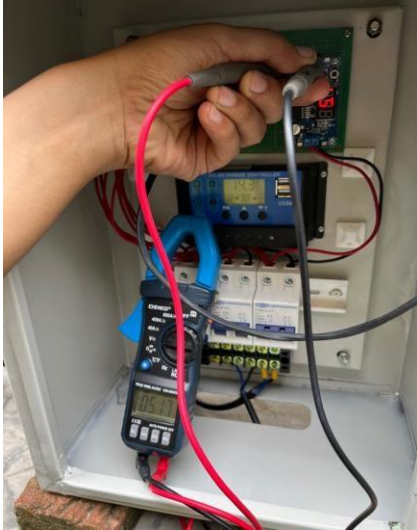


Sumber : Dokumen Pribadi

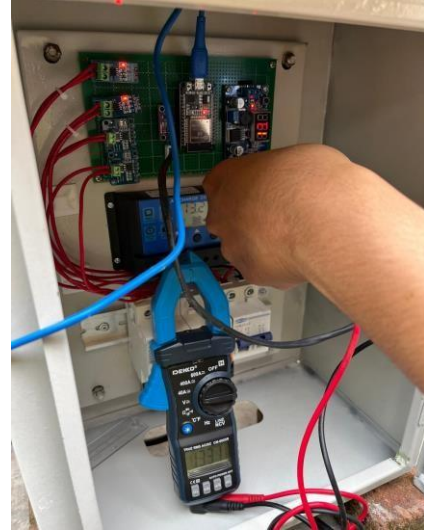
Gambar 1. Pengujian Sensor Arus

d) Pengujian *Step Down DC*

Pengujian modul *step down DC* bertujuan untuk memastikan bahwa modul tersebut dapat menurunkan tegangan *input* ke tegangan *output* sesuai spesifikasi, dengan cara memultitester *step down* agar tegangan yang kita inginkan sesuai.



Gambar 4. Input tegangan Down



Gambar 5. Output tegangan Step Step Down

Sumber : Dokumen Pribadi

e) Pengujian LCD 16x2

Pengujian *display LCD* untuk mengetahui apakah LCD bisa berfungsi dengan baik atau tidak dengan cara memprogram arduino dengan tulisan “Monitoring PLTS & PLTB”.



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 6. Pengujian LCD 16x2

Pengujian Dinamis

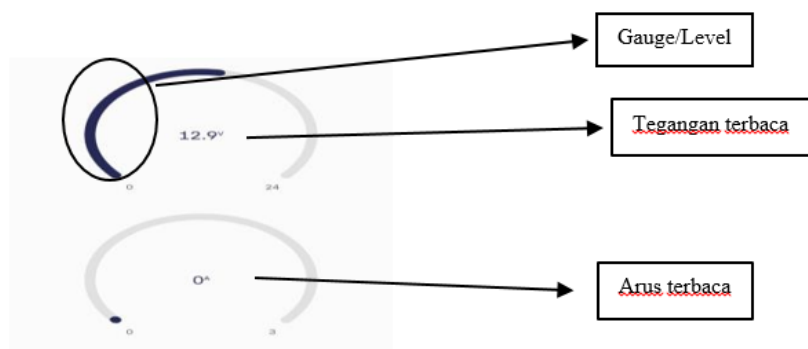
a) Pengujian Keseluruhan

Berikut adalah dokumentasi dari pengujian ketika *solar panel* dalam posisi keadaan langsung terkena sinar matahari, berada di tempat teduh dan tidak terkena sinar matahari. Dan kita juga bisa melihat besaran arus dan tegangan pada aplikasi *Blynk* dan *LCD*.

Tabel 1. Pengujian Keseluruhan

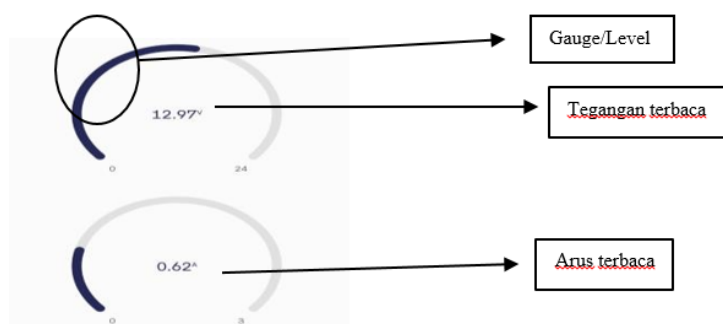
No	Blynk	LCD	Keterangan
1.	 <p>Tegangan dan arus</p>		Hujan dan Mendung (0 A)
2.	 <p>Tegangan dan arus</p>		Cerah Berawan (<1A)
3.	 <p>Tegangan dan arus</p>		Panas (>1A)

Berdasarkan tabel 1 dapat dilihat *monitoring* aplikasi *Blynk* pada *smartphone*. Besar tegangan dan arus ditampilkan melalui *gauge* atau meteran yang menunjukkan jumlah tegangan dan arus yang dibaca oleh sensor.



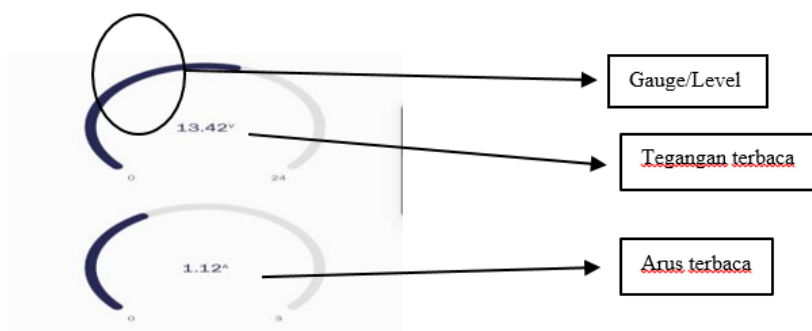
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Gambar 7. Data Blynk pada Smartphone ketika Hujan



Sumber: Dokumentasi Pribadi

Gambar 8. Data Blynk pada Smartphone ketika Cerah Berawan



Sumber: Dokumentasi Pribadi

Gambar 9. Data Blynk pada Smartphone ketika Panas

Penyajian Data

Pengujian Alat

Pengujian *Solar Panel* bertujuan untuk memastikan kinerja panel surya sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan, baik dalam hal efisiensi, daya keluaran, maupun daya tahannya terhadap kondisi lingkungan.

Tabel 2. Pengujian Alat

No	Sensor Tegangan (V)	Multitester (V)	Selisih (V)	Error (%)
1	12,9	12,92	0,02	0,15%
2	13,11	13,09	0,02	0,15%
3	12,88	12,92	0,04	0,31%
4	13,28	13,29	0,01	0,075%
5	13,5	13,5	0	0%
6	13,87	13,83	0,04	0,29%
7	13,78	13,75	0,03	0,22%
8	12,97	12,98	0,01	0,077%
9	13,42	13,42	0	0%
10	14,01	14,02	0,01	0,071%
Rata-rata	13,10	13,10	0,0225	0,17%

Keterangan:

$$\text{Error (\%)}: \frac{\text{Hasil Pengukuran} - \text{Hasil Acuan}}{\text{Hasil Acuan}} \times 100\%$$

Contoh pengujian pertama:

Sensor Tegangan : 12,9V

Multimeter : 12,92V

Selisih : 0,02

$$\text{Error} : \frac{12,9 - 12,92}{12,92} \times 100$$

$$\frac{0,02}{12,92} \times 100$$

$$0,001548 \times 100$$

$$0,1548\% = 0,15\%$$

Jadi, persentase *error* hanya 0,15%

Sensor tegangan pada data diatas adalah nilai tegangan yang ada pada *display* alat dan diukur kembali menggunakan pembanding yang disebut multimeter agar dapat menghitung besar *error* pada alat. Berdasarkan data diatas toleransi *error* rata rata tergolong kecil, dimana *error* tegangan berkisar 0% - 0,4% sedangkan *error* arus berkisar 0% - 1,2% yang artinya akurasi sensor sangat baik karena biasanya untuk alat *monitoring* toleransi *error* $\pm 5\%$ itu masih normal di industri. (Sulastri, Ilhamsyah, & Amar, 2023) Berikut adalah tabel pengujian data dari hari pertama hingga hari keenam dengan informasi cuaca yang diambil dari *website* badan meteorologi, klimatologi dan geofisika (bmkg).

a) Hari Pertama

Pada tabel 3 menunjukkan hasil pengujian alat pada hari pertama pada pukul 07:00 sampai pukul 17:00 WIB dengan pengambilan data yang diambil berupa tegangan, arus dan cuaca.

Tabel 3. Pengujian Hari Pertama

Waktu (WIB)	Tegangan Baterai (volt)	Arus (A)	Cuaca	Multimeter Tegangan (v)	Multimeter Arus (A)	Selisih Tegangan (v)	Selisih Arus (A)	Error Tegangan	Error Arus
07:00	13,15	0,8	Cerah berawan	13,17	0,8	0,02	0	0,15%	0%
08:00	13,3	0,85	Cerah berawan	13,3	0,85	0	0	0%	0%
09:00	13,28	0,63	Cerah berawan	13,30	0,6	0,02	0,03	0,15%	0,15%
10:00	14,7	1,1	Panas	14,67	1	0,03	0,1	0,22%	0,31%
11:00	14,77	1,2	Panas	14,74	1,2	0,03	0	0,12%	0%
12:00	14,65	1,3	Panas	14,65	1,3	0	0	0,41%	0%
13:00	14,76	1,4	Panas	14,8	1,4	0,04	0	0,29%	0%
14:00	12,8	0	Mendung	13,0	0	0,02	0	0,15%	0%
15:00	12,85	0	Hujan	12,80	0	0,05	0	0,33%	0%
16:00	12,9	0	Hujan	12,83	0	0,07	0	0,4%	0%
17:00	12,86	0	Mendung	12,83	0	0,03	0	0,12%	0%

b) Hari Kedua

Pada tabel 4 menunjukkan hasil pengujian alat pada hari kedua pada pukul 07:00 sampai pukul 17:00 WIB dengan pengambilan data yang diambil berupa tegangan, arus dan cuaca.

Tabel 4. Pengujian Hari Kedua

Waktu (WIB)	Tegangan Baterai (volt)	Arus (A)	Cuaca	Multimeter Tegangan (v)	Multimeter Arus (A)	Selisih Tegangan (v)	Selisih Arus (A)	Error Tegangan	Error Arus
07:00	13,15	0,63	Cerah berawan	13,12	0,6	0,03	0,03	0,15%	0,15%
08:00	12,90	0	Mendung	13,0	0	0,01	0	0,08%	0%
09:00	12,96	0	Mendung	12,96	0	0	0	0%	0%
10:00	12,87	0	Mendung	12,90	0	0,03	0	0,15%	0%
11:00	14,77	1,2	Panas	14,80	1,1	0,03	0,1	0,15%	0,32%
12:00	14,65	1,1	Panas	14,73	1,1	0,08	0	0,42%	0%
13:00	14,76	1,2	Panas	14,74	1,1	0,02	0,1	0,1%	0,32%
14:00	14,80	1,25	Panas	14,80	1,2	0	0,05	0%	0,23%
15:00	13,15	0,63	Cerah berawan	13,13	0,6	0,02	0,03	0,1%	0,15%
16:00	13,27	0,75	Cerah berawan	13,31	0,75	0,04	0	0,24%	0%
17:00	13,50	0,93	Cerah berawan	13,62	0,9	0,12	0,03	0,71%	1,15%

c) Hari Ketiga

Pada tabel 5 menunjukkan hasil pengujian alat pada hari ketiga pada pukul 07:00 sampai pukul 17:00 WIB dengan pengambilan data yang diambil berupa tegangan, arus dan cuaca.

Tabel 5. Pengujian Hari Ketiga

Waktu (WIB)	Tegangan Baterai (volt)	Arus (A)	Cuaca	Multimeter Tegangan (v)	Multimeter Arus (A)	Selisih Tegangan (v)	Selisih Arus (A)	Error Tegangan	Error Arus
07:00	13,15	0,78	Cerah berawan	13,15	0,78	0	0	0%	0%
08:00	13,15	0,78	Cerah berawan	13,20	0,78	0,05	0	0,42%	0%
09:00	13,27	0,87	Cerah berawan	13,31	1,15	0,04	0,87	0,31%	0,29%
10:00	13,5	0,98	Cerah berawan	13,5	1,15	0,95	0,03	0%	0,15%
11:00	14,74	1,1	Panas	14,77	1,1	0,03	0	0,15%	0%
12:00	14,7	1,2	Panas	14,68	1,1	0,02	0,1	0,11%	0,32%
13:00	14,76	1,2	Panas	14,77	1,1	0,01	0,1	0,08%	0,32%
14:00	14,89	1,3	Panas	14,82	1,25	0,07	0,05	0,51%	0,29%
15:00	12,89	0	Mendung	13,10	0	0,21	0	1,2%	0%
16:00	12,67	0	Mendung	12,71	0	0,04	0	0,44%	0%
17:00	12,78	0	Mendung	12,77	0	0,01	0	0,08%	0%

d) Hari Keempat

Pada tabel 6 menunjukkan hasil pengujian alat pada hari keempat pada pukul 07:00 sampai pukul 17:00 WIB dengan pengambilan data yang diambil berupa tegangan, arus dan cuaca.

Tabel 6. Pengujian Hari Keempat

Waktu (WIB)	Tegangan Baterai (volt)	Arus (A)	Cuaca	Multimeter Tegangan (v)	Multimeter Arus (A)	Selisih Tegangan (v)	Selisih Arus (A)	Error Tegangan	Error Arus
07:00	13,15	0,68	Cerah berawan	13,11	0,7	0,03	0,02	0,15%	0,11%
08:00	13,15	0,68	Cerah berawan	13,13	0,7	0,02	0,02	0,11%	0,11%
09:00	13,27	0,87	Cerah berawan	13,23	0,9	0,03	0,03	0,22%	0,15%
10:00	14,5	1,1	Panas	14,44	1,1	0,06	0	0,33%	0%
11:00	14,74	1,2	Panas	14,7	1,15	0,04	0,05	0,22%	0,29%
12:00	14,7	1,2	Panas	14,72	1,2	0,02	0	0,11%	0%
13:00	14,76	1,3	Panas	14,77	1,25	0,01	0,05	0,08%	0,29%
14:00	14,89	1,3	Panas	14,83	1,3	0,06	0	0,33%	0%
15:00	12,89	0	Mendung	12,85	0	0,04	0	0,22%	0%
16:00	12,67	0	Mendung	12,61	0	0,06	0	0,33%	0%
17:00	12,78	0	Mendung	12,79	0	0,01	0	0,08%	0%

e) Hari Kelima

Pada tabel 7 menunjukkan hasil pengujian alat pada hari kelima pada pukul 07:00 sampai pukul 17:00 WIB dengan pengambilan data yang diambil berupa tegangan, arus dan cuaca.

Tabel 7. Pengujian Hari Kelima

Waktu (WIB)	Tegangan Baterai (volt)	Arus (A)	Cuaca	Multimeter Tegangan (v)	Multimeter Arus (A)	Selisih Tegangan (v)	Selisih Arus (A)	Error Tegangan	Error Arus
07:00	13,15	0,68	Cerah berawan	13,14	0,7	0,01	0,02	0,08%	0,11%
08:00	13,15	0,68	Cerah berawan	13,15	0,7	0	0,02	0%	0,11%
09:00	13,27	0,75	Cerah berawan	13,28	0,8	0,01	0,05	0,08%	0,29%
10:00	13,5	0,89	Cerah berawan	13,55	0,9	0,05	0,01	0,30%	0,08%
11:00	14,74	1,2	Panas	14,77	1,2	0,03	0	0,15%	0%
12:00	14,7	1,2	Panas	14,74	1,2	0,04	0	0,22%	0%
13:00	12,79	0	Mendung	12,77	0	0,02	0	0,11%	0%
14:00	12,79	0	Mendung	12,76	0	0,03	0	0,15%	0%
15:00	12,77	0	Hujan	12,75	0	0,02	0	0,11%	0%
16:00	12,67	0	Hujan	12,70	0	0,03	0	0,15%	0%
17:00	12,78	0	Hujan	12,75	0	0,03	0	0,15%	0%

f) Hari Keenam

Pada tabel 8 menunjukkan hasil pengujian alat pada hari keenam pada pukul 07:00 sampai pukul 17:00 WIB dengan pengambilan data yang diambil berupa tegangan, arus dan cuaca.

Tabel 8. Pengujian Hari Keenam

Waktu (WIB)	Tegangan Baterai (volt)	Arus (A)	Cuaca	Multimeter Tegangan (v)	Multimeter Arus (A)	Selisih Tegangan (v)	Selisih Arus (A)	Error Tegangan	Error Arus
07:00	12,79	0	Mendung	12,78	0	0,01	0	0,08%	0%
08:00	12,79	0	Hujan	12,78	0	0,01	0	0,08%	0%
09:00	12,77	0	Hujan	12,77	0	0	0	0%	0%
10:00	12,67	0	Hujan	12,70	0	0,03	0	0,15%	0%
11:00	12,78	0	Mendung	12,75	0	0,03	0	0,15%	0%
12:00	12,7	0	Mendung	12,73	0	0,03	0	0,15%	0%
13:00	12,83	0	Mendung	12,80	0	0,03	0	0,15%	0%
14:00	13,15	0,78	Cerah Berawan	13,15	0,8	0	0,02	0%	0,11%
15:00	13,15	0,78	Cerah Berawan	13,20	0,8	0,05	0,02	0,33%	0,11%
16:00	13,27	0,87	Cerah Berawan	13,26	0,9	0,01	0,03	0,08%	0,15%
17:00	13,5	0,98	Cerah Berawan	13,5	1	0	0,02	0%	0,11%

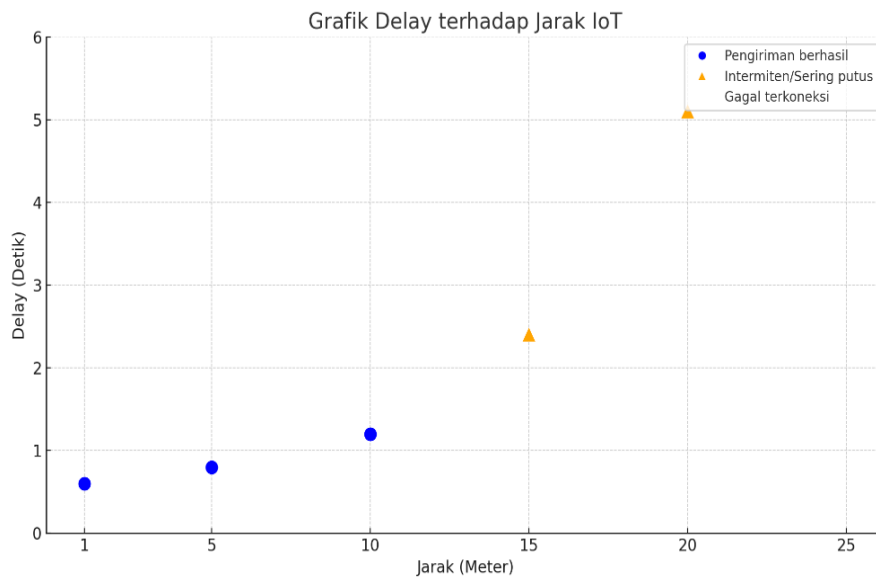
Pengujian Internet of Things

Untuk mengetahui kemampuan jangkauan sistem *Internet of Things* (IoT), dilakukan pengujian terhadap jarak efektif transmisi data dari ESP32 ke aplikasi *Blynk*. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana data dapat dikirim secara stabil melalui jaringan *Wi-Fi* pada berbagai jarak. Pengujian dilakukan mulai dari jarak 1 meter hingga 25 meter dari *access point* (*router Wi-Fi*), dan dicatat status pengiriman data serta waktu keterlambatan (*delay*). Berikut adalah hasil pengujian:

Tabel 9. Pengujian IOT

No	Jarak (Meter)	Tegangan Terbaca (V)	Arus Terbaca (A)	Status Pengiriman Data	Delay (Detik)	Keterangan
1	1	13.12	0.75	Berhasil	0.6	Dekat dengan router
2	5	13.10	0.72	Berhasil	0.8	Dalam ruangan
3	10	13.05	0.70	Berhasil	1.2	Batas jarak dalam ruangan
4	15	12.98	0.66	Tidak tetap (<i>intermiten</i>)	2.4	Ada dinding penghalang
5	20	12.90	0.60	Sering putus	5.1	Di luar ruangan
6	25	-	-	Tidak terkoneksi	-	Di luar jangkauan Wi-Fi

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa sistem IoT mampu bekerja dengan **optimal hingga jarak 10 meter** dari sumber *Wi-Fi* dalam kondisi tanpa penghalang fisik. Setelah melewati jarak 15 meter, terjadi **gangguan koneksi** yang mengakibatkan keterlambatan pengiriman data dan bahkan **putus total** pada jarak 25 meter. Hal ini menjadi indikator bahwa **jarak ideal** untuk sistem *monitoring* ini berada dalam rentang **5–10 meter**, tergantung kondisi lingkungan dan hambatan sinyal seperti dinding, logam, atau gangguan lainnya. Berikut adalah grafik **delay terhadap jarak IoT** sesuai data pengujian.

**Grafik 1. Delay Jarak IOT**

Pengujian Efisiensi Baterai

Untuk mengetahui seberapa besar efisiensi proses pengisian baterai menggunakan *solar panel* berbasis IoT, dilakukan pengukuran pada beberapa waktu berbeda. Data yang dicatat meliputi tegangan dan arus *input* dari *solar panel* serta tegangan baterai yang terisi. Efisiensi

dihitung berdasarkan perbandingan daya yang masuk (*input*) dengan daya yang berhasil disimpan dalam baterai.

Tabel 10. Pengujian Efisiensi Baterai

No	Waktu (WIB)	Tegangan Input (V)	Arus Input (A)	Daya Input (W)	Tegangan Baterai (V)	Daya Tersimpan (W)	Efisiensi Baterai (%)
1	07:00	14.70	1.10	16.17	13.15	14.47	89.45%
2	08:00	14.76	1.20	17.71	13.30	15.96	90.11%
3	09:00	14.65	1.30	19.05	13.28	17.27	90.68%
4	10:00	14.76	1.40	20.66	14.70	19.04	92.15%
5	11:00	14.80	1.25	18.50	14.74	18.42	99.57%

Keterangan:

Daya Input = Tegangan Input \times Arus Input

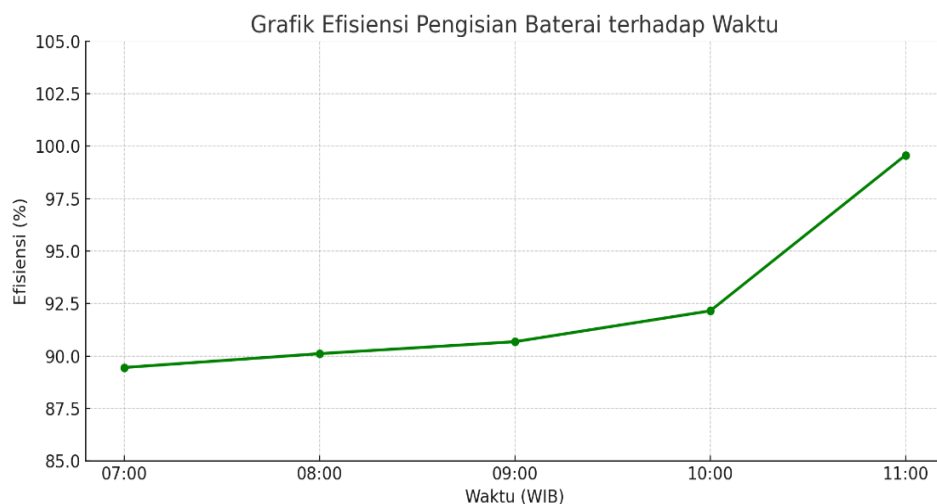
Daya Tersimpan = Tegangan Baterai \times Arus Input

Efisiensi = (Daya Tersimpan \div Daya Input) \times 100%

Contoh perhitungan pertama:

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi} &= \frac{\text{Daya Tersimpan}}{\text{Daya Input}} \times 100\% \\ &= \frac{14.47}{16.17} \times 100\% = 89,45\%\end{aligned}$$

Dari data tersebut dapat dilihat bahwa efisiensi sistem pengisian baterai cenderung tinggi, dengan nilai rata-rata di atas 90%. Efisiensi tertinggi tercatat pada pukul 11:00 dengan nilai 99.57%, yang menunjukkan bahwa hampir seluruh daya yang dihasilkan panel diserap oleh baterai secara optimal. Efisiensi lebih rendah terlihat pada pagi hari karena intensitas cahaya matahari belum maksimal.



Grafik 2. Data Efisiensi Baterai

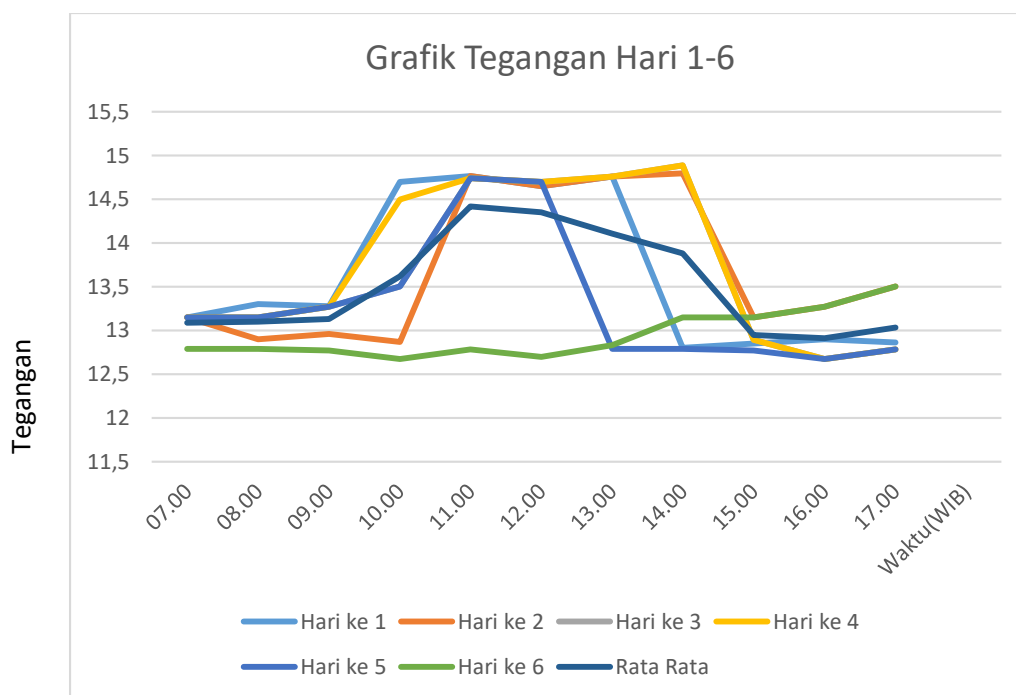
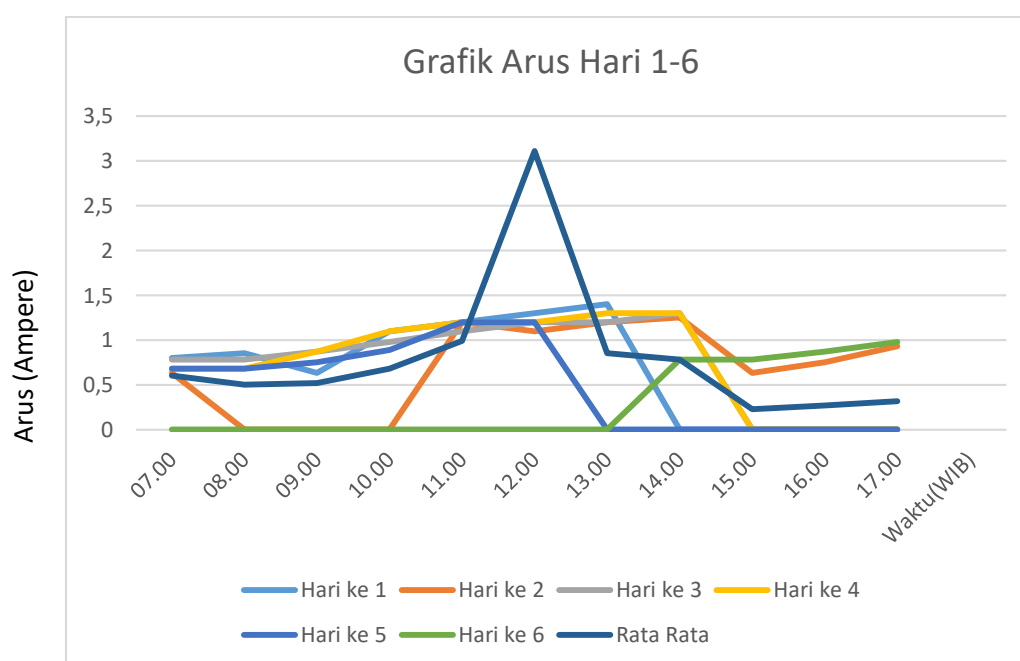
Analisa Data

Berdasarkan hasil pengujian dan pengumpulan data yang telah dilakukan selama enam hari berturut-turut, diperoleh gambaran menyeluruh mengenai performa sistem *Battery Charger* berbasis *solar panel* dan *Internet of Things* (IoT). Analisis dilakukan terhadap parameter utama yang meliputi tegangan, arus, efisiensi pengisian, serta performa konektivitas data dari sisi jarak dan *delay* sistem *monitoring*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja dengan baik pada kondisi cuaca cerah, dengan tegangan rata-rata yang dihasilkan oleh *solar panel* berkisar antara **13,15–14,8 Volt**, dan arus pengisian mencapai hingga **1,4 Ampere**. Pengisian baterai berlangsung secara optimal dalam rentang waktu pukul 10:00 hingga 13:00 WIB, di mana intensitas sinar matahari berada pada puncaknya. Sementara itu, pada kondisi mendung dan hujan, *output* dari *solar panel* menurun secara signifikan, dengan arus pengisian mendekati **0 Ampere**, yang mengindikasikan bahwa sistem tidak mampu melakukan pengisian secara efisien pada kondisi pencahayaan rendah.

Dari sisi efisiensi, hasil perhitungan antara daya *input* dari *solar panel* dan daya yang berhasil disimpan dalam baterai menunjukkan nilai efisiensi berkisar antara **89,45% hingga 99,57%**, dengan rata-rata efisiensi di atas **90%**. Nilai efisiensi tertinggi terjadi pada pukul 11:00 WIB, saat daya input maksimal terserap secara efektif oleh baterai. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *charger controller* dan *step-down* regulator yang digunakan mampu meminimalkan rugi-rugi daya dalam proses konversi dan penyimpanan energi.

Analisis terhadap kinerja sistem IoT dalam hal jarak dan *delay* pengiriman data menunjukkan bahwa pada jarak hingga **10 meter**, sistem mampu mengirimkan data secara *real-time* ke aplikasi *Blynk* dengan *delay* antara **0,6–1,2 detik**, tergolong sangat baik. Namun, pada jarak **15–20 meter**, koneksi menjadi tidak stabil dan *delay* meningkat hingga **5 detik**, serta pada jarak **25 meter** sistem kehilangan konektivitas secara penuh. Hal ini menandakan bahwa jangkauan efektif sistem berada pada kisaran **maksimal 10–15 meter**, bergantung pada kondisi lingkungan seperti penghalang fisik atau interferensi sinyal. Selain itu, hasil perbandingan antara sensor yang terpasang (tegangan dan arus) dengan pengukuran manual menggunakan multimeter menunjukkan tingkat error rata-rata sangat kecil, yaitu **< 0,5%**, yang berarti akurasi sistem cukup tinggi dan dapat diandalkan untuk kebutuhan monitoring harian. Dari data data yang ada dapat disimpulkan dengan grafik sebagai berikut :

**Grafik 3. Data Tegangan****Grafik 4. Data Arus**

Dari kedua grafik diatas dapat dilihat bahwa tegangan pada pagi hari belum maksimal tetapi sudah mulai bekerja optimal dengan rata-rata tegangan 13,09 volt dan rata-rata arus berkisar 0,68 ampere serta mampu bekerja dengan baik pada saat kondisi cuaca sedang panas, dimana intensitas matahari sedang berada di puncaknya yang berkisar pada pukul 11.00 sampai dengan pukul 14.00 dengan rata-rata tegangan tertinggi yaitu 14,35 volt dan rata-rata arus

tertinggi yaitu 3,11 ampere. Sementara itu, pada sore hari pada pukul 15.00 sampai dengan 17.00 *output* dari *solar panel* menurun secara signifikan dengan rata-rata tegangan yang berkisar antara 12,90 volt dan rata-rata arus yang berkisar 0,32 ampere serta pada kondisi mendung atau hujan arus pengisian pada solar panel mendekati 0 ampere karena tidak ada intensitas sinar matahari yang mengindikasikan bahwa sistem tidak mampu melakukan pengisian dengan baik.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa solar panel dengan kapasitas 50 Wp yang digunakan mampu menghasilkan arus maksimal sekitar 2,84 A pada kondisi cuaca cerah. Namun, dalam pengujian harian, arus rata-rata yang dihasilkan berkisar antara 0 A hingga 1,2 A, tergantung pada intensitas penyinaran matahari. Ketika cuaca mendung atau hujan, arus yang dihasilkan menurun secara signifikan, bahkan mendekati nol. Battery charger yang dirancang terbukti mampu mengisi daya baterai dengan baik menggunakan energi dari solar panel. Sistem ini dilengkapi dengan fitur pemantauan parameter pengisian seperti tegangan dan arus secara real-time melalui aplikasi Blynk berbasis Internet of Things (IoT), yang memungkinkan pengguna memantau kondisi pengisian baterai kapan pun dan di mana pun melalui smartphone.

Meskipun sistem telah berhasil direalisasikan, penulis menyadari bahwa rancang bangun battery charger berbasis solar panel dan IoT ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, disarankan agar penelitian selanjutnya tidak hanya berfokus pada fungsi monitoring, tetapi juga mengembangkan fitur output tambahan yang lebih bermanfaat. Selain itu, pengembangan alat ini sebaiknya mengikuti perkembangan teknologi terkini guna meningkatkan efisiensi dan fungsionalitasnya. Dengan demikian, alat ini dapat menjadi lebih inovatif dan aplikatif untuk keperluan di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adzim, M. F., & Vrikati, N. S. (2020). Studi Islam dalam kaca mata normatif dan historis. *Al-Munqidz: Jurnal Kajian Keislaman*, 8(3), 441–452.
- Ajani, R. A., Sonhaji, & Widyaningsih, U. (2024). Rancang bangun miniatur crane berbasis motor 220V AC. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika (JTMEI)*, 10.
- Dilla, B., Widi, B., Wilyanti, S., Jaenul, A., Antono, Z. M., & Pangestu, A. (2022). Implementasi solar charge controller untuk pengisian baterai dengan menggunakan sumber energi hybrid pada sepeda motor listrik. *Jurnal Edukasi Elektro*, 8.
- Fahmi, R., & Azhari, M. (2021). Monitoring sistem tenaga surya menggunakan aplikasi berbasis Android dan NodeMCU. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, 9(1), 34–41.
- Haryanto, T., Charles, H., & Pranoto, H. (2021). Perancangan energi terbarukan solar panel untuk essential load dengan. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(1), 10.
- Hasibuan, R., & Andika, M. (2020). Analisis efisiensi panel surya dalam kondisi cuaca tropis. *Jurnal Ilmu Teknik dan Energi*, 6(2), 56–64.
- Metandi, F., Nurcahyono, D., & Najib, A. (2022). Workshop Internet of Things (IoT). *Community Empowerment*, 7.
- Nurul, A., & Handayani, M. (2023). Integrasi energi terbarukan dalam smart grid berbasis IoT: Studi kasus di daerah pesisir. *Jurnal Rekayasa Energi*, 12(2), 88–97.
- Rahmatullah, N., & Hasan, S. (2021). Pengembangan sistem kontrol pengisian baterai berbasis IoT untuk pemanfaatan energi terbarukan. *Jurnal Teknologi Terapan*, 5(2), 102–110.
- Saputra, C. (2024). IoT di industri transportasi Gojek Online UM Surabaya. *UM Surabaya*, 14.
- Simanjuntak, B. E., Amirrudin, W., & Kiryanto. (2018). Analisa desain bentuk lambung pada kapal ikan tradisional 200GT ditinjau berdasarkan kriteria perancangan kapal. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 10.
- Subandi, & Hani, S. (2015). Pembangkit listrik energi matahari sebagai penggerak. *Jurnal Teknologi Technoscience*, 7.
- Sulastri, Ilhamsyah, H. A., & Amar, S. (2023). Optimasi pengalokasian pekerja binary integer programming di UMKM Zulpah Batik Tanjung Bumi. *Jurnal Teknik Industri*, 10.
- Syahputra, A., & Lestari, D. (2022). Efisiensi penggunaan mikrokontroler dalam pemantauan daya listrik berbasis Internet of Things. *Jurnal Inovasi Teknologi Elektronika*, 11(1), 49–57.
- Widodo, T., & Sari, E. (2019). Perancangan sistem pengisian baterai otomatis menggunakan solar panel. *Jurnal Elektro dan Sistem Kontrol*, 8(3), 21–27.