

Monitoring Tegangan dan Arus Pada Panel Surya Menggunakan IoT

Tole Sutikno¹, Jekson Alfahri², Hendril Satrian Purnama³

[Submission: 19-12-2022, Accepted: 09-02-2023]

Abstract— Solar panel is a potential technology for harvesting solar energy, especially in tropical countries like Indonesia. Currently, energy harvesting technology based on solar photovoltaic (PV) has reached an advanced stage and is widely applied to various applications. On the other hand, the massive number of PV-based solar power plants (PLTS) makes the maintenance process even more difficult. Therefore, we need a solution that can streamline this maintenance process. With the use Internet of Things (IoT) Technology, we can monitor the health conditions of PLTS online and real-time. This study uses the NodeMCU ESP8266 microcontroller and the INA219 sensor to monitor current and voltage at PLTS system, then the data will be sent via the internet to the Blynk application. The research method used is to collect data every 10 minutes in the morning, afternoon, and evening. The results showed that the use of the NodeMCU ESP8266 microcontroller and the Blynk IoT platform for solar panel current and voltage monitoring applications can reduce production costs with optimal and stable measurement and monitoring results.

Keyword— Blynk; Internet of Things; Monitoring; NodeMCU; Solar Panel.

Intisari— Teknologi solar panel menjadi salah satu teknologi yang sangat potensial untuk memanen energi matahari, terutama di negara tropis seperti Indonesia. Saat ini, teknologi pemanen energi berbasis panel surya/photovoltaic (PV) sudah mencapai tahap yang *advance* dan banyak diaplikasikan di berbagai macam kebutuhan. Di sisi lain, dengan masifnya jumlah pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) berbasis PV, menyebabkan proses pemeliharaannya menjadi semakin sulit. Oleh karena itu dibutuhkan solusi yang dapat mengefisiensi proses pemeliharaan ini. Dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) kita dapat memantau kondisi kesehatan PLTS secara daring dan *real-time*. Penelitian ini menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dan sensor INA219 untuk pemantauan arus dan tegangan pada PLTS, kemudian data tersebut akan dikirimkan via internet ke aplikasi Blynk. Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan pengambilan data setiap 10 menit sekali pada pagi hari, siang hari, dan sore hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dan platform IoT Blynk untuk aplikasi monitoring arus dan tegangan panel surya dapat menurunkan biaya produksi dengan hasil pengukuran dan pemantauan yang optimal dan stabil.

Kata Kunci— Blynk; Internet of Things; Monitoring; NodeMCU; Solar Panel.

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro Universitas Ahmad Dahlan, Jl. Ringroad Selatan, Kragilan 55191 INDONESIA (telp: (0274) 563515; fax: 0274-564604; e-mail: tole@te.uad.ac.id)

³Peneliti, Embedded Systems and Power Electronics Research Group, Jl. Sukun Raya, Modalan 55198 (telp: (+62) 87839541893; e-mail: esperg@ee.uad.ac.id)

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu kawasan yang terletak pada garis khatulistiwa, dengan beraneka ragam kekayaan alamnya. Aliran air, pancaran sinar matahari, energi angin, dan kekayaan alam lainnya mampu diolah menjadi sumber energi listrik baru dan terbarukan [1]–[5]. Sumber dari energi listrik baru dan terbarukan dapat menjadi penunjang keberlangsungan hidup manusia dimasa yang akan datang. Seiring berjalannya waktu stok energi fosil seperti minyak dan batu bara akan habis, maka harus diimbangi penggunaan sumber energi listrik baru dan terbarukan [6]. Banyak sistem yang berbasis sumber energi baru dan terbarukan yang sudah dibuat di beberapa kawasan antara lain; Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), dan masih ada beberapa jenis pembangkit lainnya. PLTS ialah pembangkit listrik yang memanfaatkan sinar dari matahari sebagai sumber energi utamanya [7], [8].

Cahaya matahari merupakan sumber energi bersih karena tidak menghasilkan polusi udara. Disisi lain, cahaya matahari juga merupakan energi terbarukan yang tidak akan habis seperti sumber energi fosil pada umumnya. Untuk memanen energi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik, dibutuhkan piranti yang disebut solar panel/panel surya [9], [10]. Panel surya merupakan media yang digunakan untuk memperoleh energi terbarukan yang bersumber dari cahaya matahari. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi hasil pemanenan energi yang diperoleh panel surya, salah satunya arah datangnya cahaya matahari dan intensitas cahaya yang ditangkap oleh panel surya [11]. Panel surya pada umumnya ditempatkan di luar ruangan agar memperoleh cahaya matahari tanpa penghalang. Atap rumah atau bangunan lainnya merupakan rekomendasi lokasi yang bagus untuk menempatkan panel surya.

Akhir-akhir ini, teknologi pemanfaatan energi matahari menggunakan panel surya semakin berkembang. Banyak penelitian terkait dengan pengembangan teknologi pendukung panel surya yang dilakukan dengan tujuan untuk meraih efisiensi yang tinggi dan kemudahan untuk melakukan perawatan pada sistem PLTS [3], [12]–[18]. Salah satunya adalah dengan memanfaatkan teknologi IoT sebagai sarana untuk melakukan pemantauan terhadap sistem pada PLTS, secara daring dan *real-time* serta dapat dilakukan selama 24 jam non-stop [14], [16], [18]–[20]. Pada penelitian ini, sistem pemantauan arus dan tegangan solar panel dirancang menggunakan ESP8266 sebagai kontroler utama, dan aplikasi Blynk digunakan sebagai *software platform* IoT.



II. STUDI PUSTAKA

A. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS merupakan sistem pembangkit listrik yang mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Komponen utama dari PLTS adalah panel surya atau biasanya disebut dengan fotovoltaic (PV) yang dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik, sehingga dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari. Arus listrik yang dihasilkan oleh PV adalah arus listrik searah/*direct current* (DC) sehingga dibutuhkan komponen tambahan lainnya seperti inverter untuk mengkonversi arus DC menjadi arus listrik bolak-balik/*alternating current* (AC) [21]. Selain itu dibutuhkan juga beberapa komponen lain seperti pengkondisi daya atau *power conditioner* yang digunakan sebagai penyetabil daya dan pengangkat tegangan yang masuk dari PV [22] ke inverter dan sistem penyimpanan daya sementara atau biasa disebut dengan *energy storage system* (ESS).

B. Internet of Things

Internet of things (IoT) atau internet untuk segala merupakan sebuah konsep dimana semua benda fisik dapat terhubung dan berkomunikasi melalui internet tanpa ada intervensi dari manusia. Ide awal IoT pertama kali dimunculkan oleh Kevin Ashton pada tahun 1999 [23] dimana benda-benda di sekitar dapat berkomunikasi satu sama lain melalui sebuah jaringan seperti internet saat ini. Dengan semakin berkembangnya infrastruktur internet, maka kita akan menuju babak berikutnya, di mana bukan hanya smartphone atau komputer saja yang dapat terkoneksi dengan internet. Namun hampir semua benda fisik nantinya dapat terkoneksi dengan internet. Saat ini milyaran perangkat dan orang di seluruh dunia telah terhubung melalui jaringan internet.

C. NodeMCU ESP8266

NodeMCU ESP8266 merupakan sebuah modul mikrokontroler yang dilengkapi dengan built in Wi-Fi, sehingga dapat digunakan secara *standalone* untuk menjalankan tugas pengiriman data ke jaringan internet. Berbeda dengan modul mikrokontroler lain yang umumnya tidak dilengkapi dengan built in WiFi, sehingga memerlukan modul WiFi tambahan seperti Ethernet Shield yang menyebabkan sistem menjadi lebih rumit dan tidak *compact*. Pada rancangan sistem monitoring daya untuk panel surya ini, modul NodeMCU ESP8266 digunakan untuk mengirimkan data parameter arus dan tegangan yang diproses oleh mikrokontroler ATmega328P ke jaringan internet melalui Wi-Fi dari *Access Point* (AP) yang sudah tersedia.

D. Sensor INA219

Sensor INA219 merupakan sensor dari Adafruit yang digunakan untuk mengukur arus dan tegangan DC dengan skala yang relatif kecil. Modul sensor ini mampu mengukur tegangan dari 0 sampai dengan 26 Vdc dan arus maksimal 3,2 A. Sensor ini memiliki ukuran yang kecil namun memiliki fitur yang modern, karena sudah menggunakan komunikasi I2C, sehingga dapat meminimalisir penggunaan port pada modul mikrokontroler, dan mudah untuk diprogram. Pada penelitian ini, sensor INA219 digunakan sebagai alat ukur arus dan tegangan dari panel surya secara langsung, sehingga kesehatan

dari panel surya dapat dimonitor secara daring dan real-time [19].

E. Blynk

Blynk merupakan platform untuk membuat aplikasi OS mobile (android maupun iOS) yang dirancang khusus untuk membuat project Monitoring dan kendali jarak jauh dengan menggunakan IoT. Modul yang pada umumnya dapat terhubung dengan aplikasi Blynk adalah *Arduino*, *Raspberry Pi*, *ESP8266*, *ESP32*, *WEMOS D1*, dan masih banyak lagi. Blynk memungkinkan kreatornya dengan mudah merancang sebuah aplikasi monitoring dan kendali berbasis IoT, dikarenakan sistem yang digunakan adalah drag and drop, sehingga kreator tidak diharuskan mahir dalam melakukan pemrograman aplikasi mobile [29].

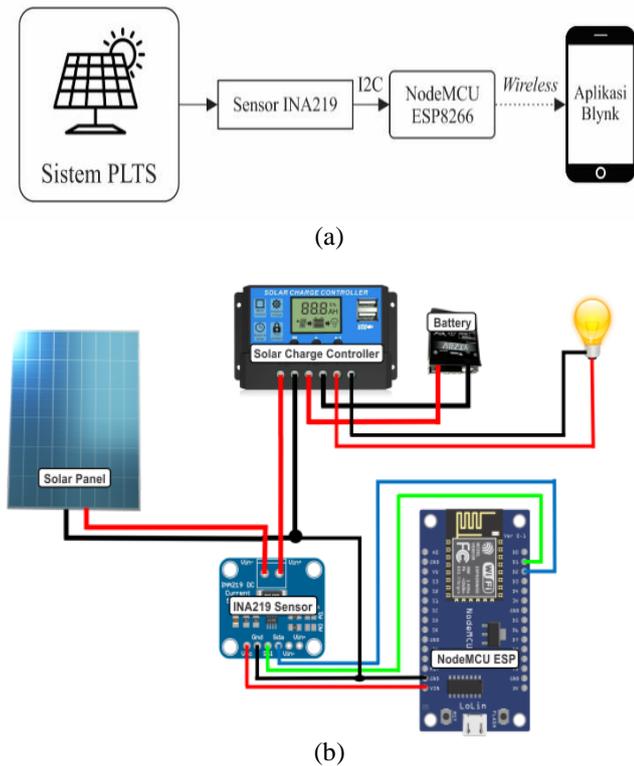
III. METODOLOGI

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan melakukan eksperimen sebagai metode pengambilan data dan menggunakan studi literatur dari penelitian terdahulu sebagai referensi untuk menentukan variabel penelitian. Sebelumnya dilakukan perancangan desain sistem, perangkat keras, serta perangkat lunak agar dapat menghasilkan sistem atau perangkat yang dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan peneliti. Pada tahap akhir penelitian ini, dilakukan pengambilan data setiap 10 menit sekali, yaitu; pagi hari pada pukul 08.00-10.00, siang hari pada pukul 12.00-14.00, dan sore hari pada pukul 15.00-17.00 WIB.

A. Desain Sistem dan Perangkat Keras

Perancangan sistem dalam penelitian ini dibagi menjadi dua tahap, tahap awal adalah tahap perancangan perangkat keras dan tahap kedua yaitu tahap perancangan perangkat lunak. Untuk memperoleh hasil yang optimal dan sesuai dengan yang diinginkan, maka perancangan sistem ini mengacu pada teori-teori serta *data-sheet* yang sudah diperoleh dari sumber yang terpercaya. Tahap pertama dilakukan perancangan diagram blok dan rangkaian elektronika. Tahap kedua dilakukan perancangan serta pembuatan perangkat lunak seperti *flowchart*, kode program dan desain media pemantauan berbasis aplikasi Blynk.

Diagram blok pada gambar 1.(a) menunjukkan perancangan model monitoring panel surya yang mana menggunakan NodeMCU sebagai mikrokontroler [24]. NodeMCU akan memberikan perintah kepada sensor INA219, dimana sensor INA219 berguna untuk membaca nilai tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya. NodeMCU akan memberikan perintah kepada sensor INA219, dimana sensor INA219 berguna untuk membaca nilai tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya [25]. Pembacaan sensor INA219 menggunakan jalur komunikasi I2C dengan tingkat presisi yang tinggi [26]. Selanjutnya hasil pengukuran dan pengumpulan data akan di kirimkan via IoT ke aplikasi Blynk [27].



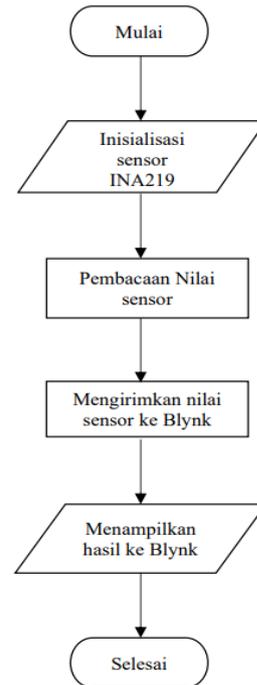
Gambar 1. Perancangan Perangkat Keras: (a) Diagram Blok, (b) Diagram Pengkabelan

Diagram pengkabelan pada gambar 1.(b) menampilkan rancangan koneksi jalur dari masing-masing perangkat. Dengan menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai Mikrokontroler, *solar charge controller* (SCC) sebagai regulator tegangan DC dari panel surya [11], [19], [28], sensor INA219 sebagai piranti pembaca nilai tegangan dan arus, lampu DC sebagai beban dan baterai 12V sebagai media penyimpan energi.

B. Desain Algoritma dan Perangkat Lunak

Proses perancangan perangkat lunak meliputi pembuatan diagram alir, kemudian perancangan kode program pada NodeMCU ESP8266 dengan menggunakan Arduino IDE serta Blynk untuk menampilkan data dari sensor. Pembuatan diagram alir berfungsi untuk menggambarkan tahapan pembacaan nilai tegangan dan arus oleh sensor INA219 menggunakan NodeMCU ESP8266 dan langsung dikirimkan ke aplikasi Blynk. Adapun perancangan *software* secara umum, yang dipakai pada penelitian ini dalam bentuk diagram alir yang ditampilkan pada Gambar 2.

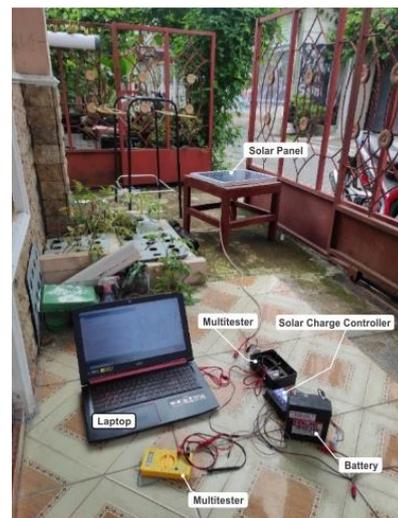
Tole Sutikno: Monitoring Tegangan dan Arus...



Gambar 2. Diagram alir perancangan perangkat lunak

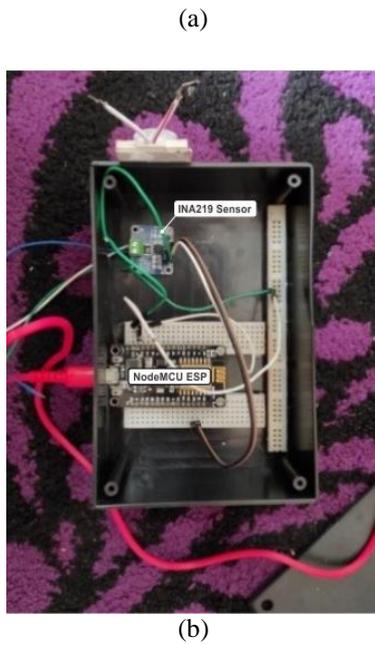
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 menunjukkan hasil rancangan perangkat keras yang digunakan untuk pengujian akhir terhadap sistem yang dibangun. Gambar 3.(a) menunjukkan perangkat pengujian secara keseluruhan, dimana terdiri dari SCC, sensor INA219, NodeMCU ESP8266, Baterai/aki 12V dan beban lampu DC 3 watt. Sedangkan gambar 3.(b) menunjukkan detail rangkaian kontroler yang terdiri dari modul NodeMCU ESP8266, sensor INA219 beserta kabel penghubungnya.



p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372





Gambar 3. Rancangan perangkat keras: (a) keseluruhan sistem untuk pengujian (b) rangkaian kontroler dan sensor.

Pengujian sistem dilakukan dalam dua (2) tahap, yang pertama adalah pengujian akurasi sensor INA219, dan yang kedua adalah pengujian sistem perangkat lunak yang dibangun dengan menggunakan *platform* Blynk.

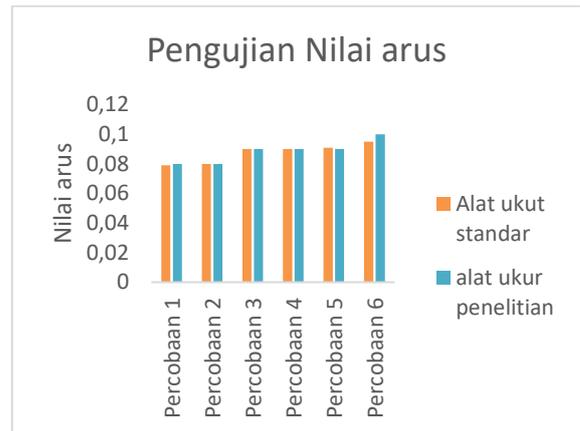
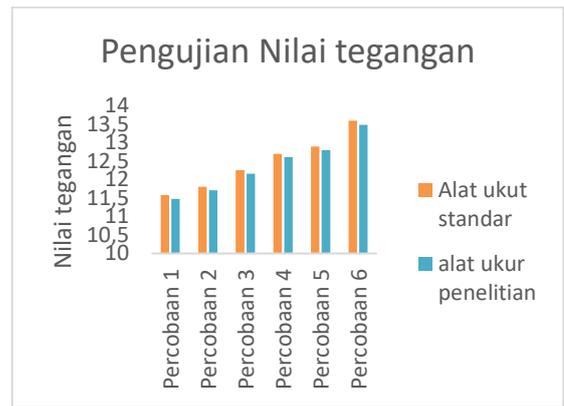
A. Pengujian Sensor INA219

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana sensor INA219 bekerja dan mengetahui apakah sensor tersebut dapat membaca tegangan dan arus dengan baik. Pada pengujian ini hasil pengukuran sensor INA219 dengan multimeter dilakukan secara bersamaan untuk membandingkan hasil pengukuran dari kedua alat tersebut. Setelah data pengukuran dari kedua alat diperoleh, maka data bisa diolah agar mengetahui nilai galat dari sensor (% error) dan akurasi dari pembacaan sensor terhadap alat ukur dapat dilihat pada Tabel 1.

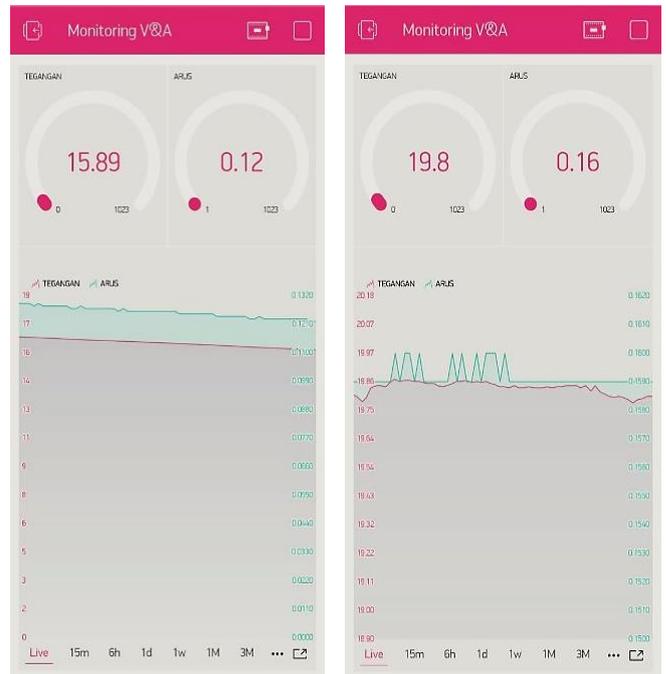
Pada Tabel 1. terdapat hasil pengukuran yang dilakukan sebanyak 6 kali percobaan pada tegangan dan 6 kali percobaan pada arus menggunakan alat standar dan penelitian, pada Gambar 4.(a) dan Gambar 4.(b) dapat diketahui bahwa kenaikan nilai menggunakan alat hasil penelitian dan alat standar sama-sama menunjukkan perubahan secara linier dan dapat dilihat data pada Tabel 1. didapatkan analisa bahwa keakuratan sensor INA219 sebagai alat pengukuran tegangan sebesar 99,17% dan arus sebesar 98,8%

B. Pengujian Perangkat Lunak (Blynk)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana konektivitas antara mikrokontroler dan Blynk dapat bekerja dengan baik. Hasil ditampilkan yaitu nilai tegangan dan arus pada Blynk IoT, dari percobaan pengukuran menggunakan Blynk didapatkan hasil yang sesuai dengan Tabel 1. Pada percobaan ini dihasilkan grafik nilai tegangan dan arus, sampel tangkapan layar aplikasi Blynk dari hasil pengujian ini dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 4. Grafik perbandingan pengujian nilai tegangan dan arus.



Gambar 5. Tampilan pada aplikasi Blynk

TABEL I
 PENGUJIAN SENSOR INA219

Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V) sensor	Arus (A)	Selisih (V)	Selisih (A)	Nilai Error Tegangan (%)	Nilai Error Arus (%)
11,58	0,079	11,48	0,08	0,10	0,001	0,86	1,26
11,81	0,08	11,71	0,08	0,10	0	0,86	0
12,26	0,09	12,16	0,09	0,10	0	0,86	0
12,70	0,09	12,61	0,09	0,09	0	0,71	0
12,90	0,091	12,80	0,09	0,10	0,001	0,86	1,26
13,60	0,095	13,49	0,10	0,11	0,005	0,80	5,2
Jumlah				0,6	0,007	4,95	7,72
Rata-rata				0,1	0,001	0,83	1,2

Dimana pada rancangan aplikasi monitoring tersebut, ditampilkan hasil pengukuran tegangan dan arus yang diukur secara daring dan *real-time*, beserta dengan grafik hasil pembacaannya.

V. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring yang dikembangkan pada penelitian ini telah berhasil diuji coba untuk memantau tegangan dan arus pada panel surya secara daring dan *real-time*. Aplikasi monitoring menggunakan *software* Blynk berhasil menampilkan data sesuai dengan hasil yang dibaca oleh sistem, sehingga hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mempermudah dalam pemantauan nilai riil dari tegangan dan arus pada panel surya. Pada saat pagi hari dilakukan pengukuran setiap 10 menit sekali pada jam 08.00–10.00 didapatkan analisa bahwa tingkat keakuratan pengukuran tegangan sebesar 99,47%. dan arus sebesar 95,84%. Pada saat siang hari dilakukan pengukuran setiap 10 menit sekali pada jam 12.00–14.00 didapatkan analisa bahwa tingkat keakuratan pengukuran tegangan sebesar 99,64% dan arus sebesar 97,72%. Pada saat sore hari dilakukan pengukuran setiap 10 menit sekali pada jam 15.00–17.00 didapatkan analisa bahwa tingkat keakuratan pengukuran tegangan sebesar 99,47% dan arus sebesar 96,72%. Hasil dari penelitian ini tentunya masih belum sempurna, namun dapat digunakan sebagai dasar untuk penelitian yang terkait dengan pemantauan kesehatan dari

sistem PLTS skala kecil maupun besar, dengan parameter pengukuran yang lebih lengkap dan detail.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada tim Embedded System and Power Electronics Research Group (ESPERG), yang telah membantu melaksanakan penelitian dan menyelesaikan paper ini.

REFERENSI

- [1] D. Pratama and A. Asnil, "Sistem Monitoring Panel Surya Secara Realtime Berbasis Arduino Uno," *MSI Trans. Educ.*, vol. 2, no. 1, pp. 19–32, 2021, doi: 10.46574/mtd.v2i1.46.
- [2] I. Z. T. Dewi, M. F. Ulinuha, W. A. Mustofa, A. Kurniawan, and F. A. Rakhmadi, "Smart Farming: Sistem Tanaman Hidroponik Terintegrasi IoT MQTT Panel Berbasis Android," *J. Keteknikan Pertan. Trop. dan Biosist.*, vol. 9, no. 1, pp. 71–78, 2021, [Online]. Available: <https://www.jkptb.ub.ac.id/index.php/jkptb/article/view/583>.
- [3] C. L. Aritonang, M. Maison, and Y. R. Hais, "Sistem Monitoring Tegangan, Arus, dan Intensitas Cahaya pada Panel Surya dengan Thingspeak," *J. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 11–24, Jan. 2020, doi: 10.22437/jurnalengineering.v2i1.8641.
- [4] M. Fernando, L. Jasa, and R. S. Hartati, "Monitoring System Kecepatan dan Arah Angin Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Raspberry Pi 3," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 21, no. 1, p. 135, 2022, doi: 10.24843/mite.2022.v21i01.p18.
- [5] I. W. B. Saputra, A. I. Weking, and L. Jasa, "Rancang Bangun Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan Kincir Overshot Wheel," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 2, pp. 48–54, 2017.
- [6] G. I. Setiaji, A. Sofwan, and S. Sumardi, "Perancangan Power Monitoring System Pada Panel Surya Sebagai Sumber Utama Pada Smart Open Parking Dalam Arsitektur lot," *Transient*, vol. 7, no. 3, p.



- 819, 2019, doi: 10.14710/transient.7.3.819-825.
- [7] Y. Apriani, "Monitoring Arus dan Tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Internet Of Things," *JATISI (Jurnal Tek. Inform. dan Sist. Informatika)*, vol. 8, no. 2, pp. 889–895, 2021, doi: 10.35957/jatisi.v8i2.543.
- [8] T. Sutikno, H. S. Purnama, R. A. Aprilianto, A. Jusoh, N. S. Widodo, and B. Santosa, "Modernisation of DC-DC converter topologies for solar energy harvesting applications: A review," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 28, no. 3, pp. 1845–1872, 2022, doi: 10.11591/ijeecs.v28.i3.pp1845-1872.
- [9] W. D. Sinaga and Y. Prabowo, "Monitoring Tegangan Dan Arus Yang Dihasilkan Oleh Sel Surya Berbasis Web Secara Online," *J. SKANKA*, vol. 1, no. 3, pp. 1273–1277, 2018, [Online]. Available: file:///C:/Users/Netro/AppData/Local/Mendeley Ltd./Mendeley Desktop/Downloaded/Sinaga, Prabowo - 2018 - Monitoring Tegangan Dan Arus Yang Dihasilkan Oleh Sel Surya Berbasis Web Secara Online.pdf.
- [10] T. Sutikno, H. S. Purnama, N. S. Widodo, S. Padmanaban, and M. R. Sahid, "A review on non-isolated low-power DC-DC converter topologies with high output gain for solar photovoltaic system applications," *Clean Energy*, vol. 6, no. 4, pp. 557–572, Aug. 2022, doi: 10.1093/ce/zkac037.
- [11] M. Nurdiansyah, E. C. Sinurat, M. Bakri, and I. Ahmad, "Sistem Kendali Rotasi Matahari Pada Panel Surya Berbasis Arduino UNO," *J. Tek. dan Sist. Komput.*, vol. 1, no. 2, pp. 7–12, 2020, doi: 10.33365/jtikom.v1i2.14.
- [12] W. Winasis, A. W. W. Nugraha, I. Rosyadi, and F. S. T. Nugroho, "Desain Sistem Monitoring Sistem Photovoltaic Berbasis Internet of Things (IoT)," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 5, no. 4, pp. 328–333, 2016, doi: 10.22146/jnteti.v5i4.281.
- [13] M. Toh-arlim, A. Ma'arif, and A. Anggari Nuryono, "Desain Sistem Pengukuran Parameter dan Keamanan Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya Berbasis Internet of Thing (IoT)," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 20, no. 2, p. 333, 2021, doi: 10.24843/mite.2021.v20i02.p18.
- [14] A. Hamied, A. Mellit, M. A. Zouli, and R. Birouk, "IoT-based experimental prototype for monitoring of photovoltaic arrays," *Proc. 2018 Int. Conf. Appl. Smart Syst. ICASS 2018*, no. November, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/ICASS.2018.8652014.
- [15] S. R. Madeti and S. N. Singh, "Monitoring system for photovoltaic plants: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 67, pp. 1180–1207, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.09.088.
- [16] A. S. Spanias, "Solar energy management as an Internet of Things (IoT) application," *2017 8th Int. Conf. Information, Intell. Syst. Appl. IISA 2017*, vol. 2018-Janua, pp. 1–4, 2018, doi: 10.1109/IISA.2017.8316460.
- [17] W. Mar Myint Aung, Y. Win, and N. Win Zaw, "Implementation of Solar Photovoltaic Data Monitoring System," *Int. J. Sci. Eng. Technol. Res.*, vol. 7, no. 8, pp. 2278–7798, 2018.
- [18] P. M. Badave, B. Karthikeyan, S. M. Badave, S. B. Mahajan, P. Sanjeevikumar, and G. S. Gill, "Health monitoring system of solar photovoltaic panel: An internet of things application," *Lect. Notes Electr. Eng.*, vol. 435, no. December, pp. 347–355, 2018, doi: 10.1007/978-981-10-4286-7_34.
- [19] T. Sutikno, H. S. Purnama, A. Pamungkas, A. Fadlil, I. M. Alsofyani, and M. H. Jopri, "Internet of things-based photovoltaics parameter monitoring system using NodeMCU ESP8266," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i6.pp5578-5587.
- [20] Y. Cheddadi, H. Cheddadi, F. Cheddadi, F. Errahimi, and N. Es-sbai, "Design and implementation of an intelligent low-cost IoT solution for energy monitoring of photovoltaic stations," *SN Appl. Sci.*, vol. 2, no. 7, 2020, doi: 10.1007/s42452-020-2997-4.
- [21] S. Gorai, D. Sattianadan, V. Shanmugasundaram, S. Vidyasagar, G. R. Prudhvi Kumar, and M. Sudhakaran, "Investigation of voltage regulation in grid connected PV system," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 19, no. 3, pp. 1131–1139, 2020, doi: 10.11591/ijeecs.v19.i3.pp1131-1139.
- [22] S. Fei and M. Wu, "Photovoltaic DC Microgrid with Hybrid Energy Storage System Connected to Electrified Railway Traction Power Supply System," vol. 864 LNEE, pp. 438–450, 2022, doi: 10.1007/978-981-16-9905-4_51.
- [23] K. Ashton, "That Internet of Things Thing," *RFID J.*, 2009.
- [24] A. B. Pulungan and M. Delfitra, "Sistem Monitoring Real Time Pada Solar Panel Park," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 8, no. 1, p. 137, 2022, doi: 10.24036/jtev.v8i1.116821.
- [25] Tukadi, W. Widodo, M. Ruswiensari, and A. Qomar, "Monitoring Pemakaian Daya Listrik Secara Realtime Berbasis Internet Of Things," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap. VII 2019*, pp. 581–586, 2019, [Online]. Available: https://ejurnal.itats.ac.id/sntekpan/article/download/659/468.
- [26] A. Ma and N. R. Setiawan, "Control of DC Motor Using Integral State Feedback and Comparison with PID: Simulation and Arduino Implementation," vol. 2, no. 5, pp. 456–461, 2021, doi: 10.18196/jrc.25122.
- [27] A. Hiendro, J. T. Elektro, F. Teknik, U. Tanjungpura, and T. Pustaka, "Penerapan aplikasi blynk pada simulator photovoltaic," [Online]. Available: file:///C:/Users/Netro/Downloads/50383-75676649693-1-PB.pdf.
- [28] D. Erwanto, D. A. Widhining K., and T. Sugiarto, "Sistem Pemantauan Arus Dan Tegangan Panel Surya Berbasis Internet of Things," *Multitek Indones.*, vol. 14, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.24269/mtkind.v14i1.2195.
- [29] Q. Aini, U. Rahardja, H. Madiistriyatno, and A. Fuad, "Rancang Bangun Alat Monitoring Pergerakan Objek pada Ruang Menggunakan Modul RCWL 0516," vol. 10, no. 1, 2018, [Online]. Available: file:///C:/Users/Netro/Downloads/13731-34871-2-PB.pdf.