



Increasing The Effectiveness Of 20 WP Solar Panel Power Absorption Using Three Angle Variations Based On The Effect Of Temperature Changes In Padang City

CORRESPONDENCE

Email :
mairizwan@fmipa.unp.ac.id
Phone :

ARTICLE INFORMATION

DOI :
10.24036/jccs/Vol1-iss2/15
Page : 74 - 87

Received : Nov 18, 2023
Revised : Nov 27, 2023
Accepted : Nov 30, 2023

Yulianis¹, Mairizwan^{1*}, Yulkifli¹

¹Department of Physics, Universitas Negeri Padang, Jl. Prof. Dr. Hamka Air Tawar, Padang, 25171, Indonesia

ABSTRACT

In this paper, a system has been successfully designed to measure the effectiveness of solar panel power absorption with three variations in location and temperature changes in the city of Padang. The performance specifications for this system use three 20-watt solar panels with varying angles of 50°, 65°, and 75°. Use of the INA219 sensor, DS18B20 sensor, and BH1750 sensor, which measure power, temperature, and light intensity parameters. The system uses a Bluetooth serial terminal as a data logger and data storage device. The design specifications for sensor accuracy are 97.5% for current, 98.3% for voltage, 98.7% for temperature, and 99.7% for light intensity. Sensor accuracy is 99.905% for current, 99.996% for voltage, 99.838% for temperature, and 99.383% for light intensity. Based on these results, the smart garden tool design can work well. The results of the increase for three variations of angles at three locations in the city are: Power absorption at an angle of 50° at 3 different locations obtained power absorption of 3447.07 Watts (urban), 2566.3 Watts (hills), and 2461 Watts (beach). Power absorption at an angle of 65° at 3 different locations obtained power absorption of 2324.67 Watts (urban), 1679.35 Watts (hills), and 1779.03 Watts (beach). Power absorption at an angle of 75° at 3 different locations obtained power absorption of 2162.16 Watts (urban), 1687.85 Watts (hills), and 1799.58 Watts (beach). From the measurement results, it can be concluded that increasing the effectiveness of solar panel energy harvesting can be done in urban locations at an angle of 50°.

KEYWORDS : Solar cells, Angle Position, Temperature, Renewable Energy



This is an open access article distributed under the Creative Commons 4.0 Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©2023 by author and Universitas Negeri Padang.

INTRODUCTION

Pemanfaatan bahan bakar konvensional seperti bahan bakar fosil untuk memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat. Hal ini dapat menyebabkan sumber energi tak terbarukan habis[1][2]. Untuk mendukung kebutuhan energi listrik khususnya di Indonesia, diperlukan sumber energi baru terbarukan yang sebagian besar tidak akan habis dalam waktu dekat[3][4][5]. Sangat penting untuk

melanjutkan pengembangan energi terbarukan sebagai sumber energi alternatif utama di Indonesia. Indonesia memiliki potensi pengembangan energi surya yang sangat baik, dengan rata-rata 4,8 kWh/m²/hari yang tentunya merupakan keuntungan besar. Selain itu, teknologi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik berkembang pesat, yang menyebabkan harga produk relatif lebih rendah [6]. Indonesia merupakan negara yang dilintasi garis ekuator dengan jumlah radiasi matahari yang relatif tinggi [7][8][9].

Panel surya merupakan pembangkit listrik bersifat mandiri yang dapat mengurangi kebutuhan pasokan energi listrik dari PLN [10]. Panel surya adalah suatu sistem yang tersusun dari potongan-potongan komponen modul surya yang digabungkan menjadi satu panel yang berfungsi mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik [11]. Panel surya menghasilkan energi listrik, dengan prinsip kerja menyerap sinar matahari yang kemudian diubah menjadi energi listrik. Nilai keluaran daya yang dihasilkan oleh panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain intensitas cahaya, cuaca, bayangan benda asing, temperatur, dan perputaran sinar matahari yang berubah secara konstan [12].

Sel surya merupakan bagian terkecil dari panel surya. Sel surya ialah perangkat yang menggunakan efek fotovoltaiik untuk mengubah sinar matahari menjadi energi listrik. Efek fotovoltaiik adalah fenomena di mana tegangan listrik berkembang ketika energi cahaya berinteraksi dengan sistem padat atau cair. Sebuah sel surya menghasilkan tegangan listrik yang sangat rendah sekitar 0,6V saat tidak ada beban dan 0,45V saat ada beban. Sel surya telah disusun secara seri untuk menghasilkan tegangan listrik yang tinggi [12].

Tata cara pemasangan unit solar panel yang merupakan bahan penyusun utama pembangkit listrik tenaga surya harus diperhatikan agar tidak terjadi kesalahan yang mengakibatkan penyerapan sinar matahari tidak optimal. Sebagai komponen utama penangkap atau penyerap sinar matahari. Arah radiasi matahari dan sudut kemiringan panel surya harus tepat [13]. Jika arah pancaran sinar matahari tegak lurus dengan permukaan panel surya, maka penyerapan sinar matahari akan maksimal [14]. Untuk meningkatkan jumlah sinar matahari yang diterima panel surya maka panel surya harus dimiringkan pada sudut yang tepat dalam desain sistem untuk menerima radiasi matahari [15][16]. Salah satu elemen yang mempengaruhi nilai keluaran daya yang dihasilkan adalah sudut kemiringan panel surya. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian untuk menentukan letak sudut kemiringan ideal panel surya terhadap arah jatuhnya sinar matahari pada permukaan panel [16].

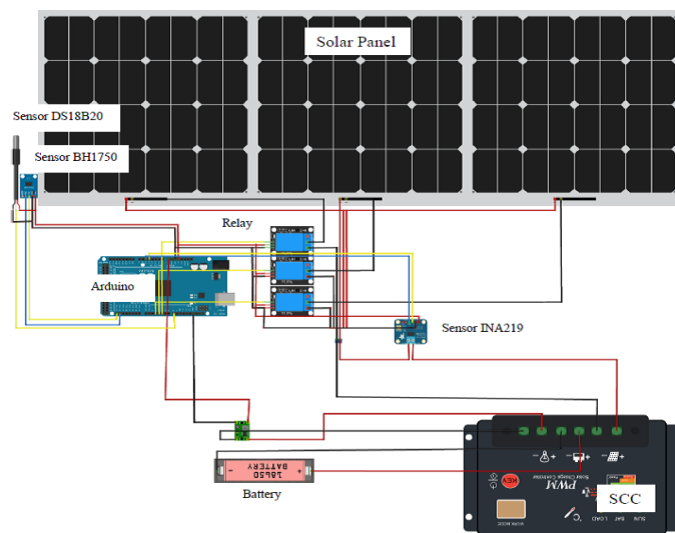
Beberapa penelitian yang dilakukan untuk mengetahui sudut optimal panel surya dengan keluaran daya maksimal yang disesuaikan berdasarkan lokasi. Penelitian yang menggunakan panel surya 100 WP dilakukan di kota Semarang dengan pengujian pengaruh sudut kemiringan mengambil sudut berdasarkan sudut tegak lurus bidang panel dengan menggunakan sudut 0° - 80° sehingga daya optimal pada sudut 40° dengan daya 10.2 watt Intensitas 37.8klux [17]. Pembedingkan posisi panel surya yang lebih efisien disaat posisi statis atau dinamis menggunakan panel surya 120 WP [18]. Selanjutnya, pada penelitian sebelumnya melakukan percobaan di dalam dan luar ruangan dengan memvariasikan sudut kemiringan dalam kondisi negara Malaysia, untuk melacak variasi kinerja PV dan parameter listrik pada berbagai sudut kemiringan dengan sudut 0°-80. Saat diluar ruangan sudut kemiringan yang optimal pada kondisi Malaysia adalah 15°.

Pada Penelitian sebelumnya berkaitan dengan rancang bangun alat PLTS menggunakan reflektor untuk peningkatan efisiensi panel surya. Melakukan perbandingan modul surya dengan penambahan reflektor pada sisi utara dan selatan dengan variasi sudut 50°, 60°, dan 70°, untuk menentukan sudut kemiringan reflektor yang dapat menghasilkan efisiensi tertinggi. Efisiensi tertinggi diukur pada sudut 70° dengan reflektor pada pukul 11.00 WIB [19]. Lalu, Penelitian sebelumnya yaitu rancangan penentuan pergerakan posisi panel surya agar selalu berada pada arah datangnya matahari

terintegrasi dengan fitur aplikasi monitoring real-time, dan semua pengaturan sistem secara otomatis diterapkan dalam satu sistem. menggunakan empat sensor cahaya LDR, metode dual axis sudut pergerakan dan informasi arah pergerakan matahari, setiap kesalahan pergerakan posisi dapat segera diperbaiki [20].

METHODS

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode rancang bangun. Pada bagian ini lebih menitik beratkan pembahasan mengenai perancangan system perangkat keras, system perangkat lunak, dan pengaturan system di lapangan. Perancangan system perangkat keras tersusun dari beberapa komponen utama yaitu receiver daya, perangkat monitoring, control charge, dan penyimpanan daya[21][22]. Untuk lebih jelasnya rancangan perangkat keras yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Hardware System

Pada bagian receiver system terdapat 3 solar panel yang digunakan dengan 3 variasi sudut untuk menentukan sudut yang paling efektif dalam menerima daya. Solar panel yang digunakan adalah tipe solar panel monokristal 20 Wp. Bagian perangkat monitoring terdapat beberapa parameter yang diukur yaitu suhu, intensitas cahaya, dan daya. Untuk mengukur parameter tersebut digunakan sensor DS18B20, sensor BH1750, dan sensor INA219. Bagian control charge menggunakan SCC bertipe PWM, control lain yang digunakan pada system ini adalah menggunakan relay 3 channel dalam mengatur output solar panel ke SCC secara bergantian. Pada bagian penyimpanan daya menggunakan baterai sebelum disalurkan ke beban tertentu, pada system ini beban digunakan untuk power dari arduino dan semua perangkat yang berkaitan dengan monitoring. Display yang digunakan dalam pembacaan parameter yang diukur adalah LCD.

Perancangan perangkat lunak system berupa algoritma kontrol yang digunakan pada pengontrolan relay dan pengukuran parameter. Untuk lebih jelasnya system perangkat lunak yang digunakan pada system dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. *Software System*

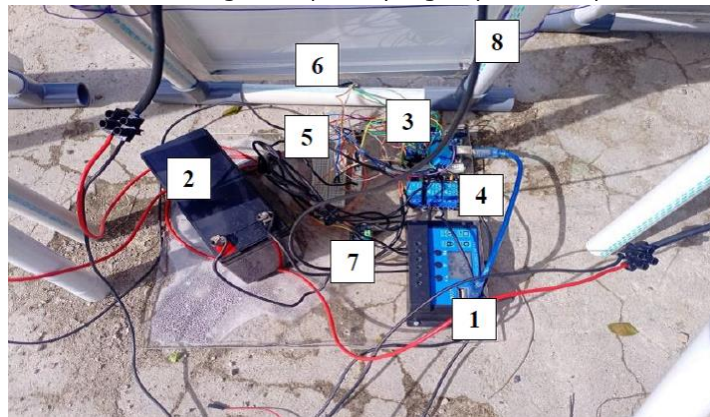
Pada Gambar 2 dijelaskan algoritma pengontrolan menggunakan mikrokontroler arduino mega. Langkah pertama dalam pengontrolan dan monitoring yaitu inialisasi variabel terlebih dahulu dengan menentukan pin yang digunakan oleh komponen. Berikutnya dilakukan pembacaan parameter dengan menggunakan masing-masing sensor yang digunakan. Pada proses kontrol relay, output dari 3 solar panel di kontrol dengan time delay yang ditentukan, sehingga setiap panel akan secara bergantian masuk ke SCC dengan time delay pada relay. Tujuan dari penggunaan system switching ini agar pengukuran daya pada setiap panel lebih efisien dibandingkan mengukur dengan menggunakan 3 sensor sekaligus. Data parameter yang dibaca selanjutnya ditampilkan pada LCD pada system.

RESULTS AND DISCUSSION

Results

Spesifikasi performansi alat merupakan pengidentifikasian atau penjabaran fungsi setiap bagian pembentuk sistem, dimana perlu dilakukan pengujian alat serta penganalisaan terhadap alat, sehingga dapat terlihat apakah sistem sudah bekerja dengan baik. Spesifikasi yang dilakukan selama penelitian yaitu rangkaian setiap sensor (sensor INA219, sensor DS18B20 dan sensor BH1750), desain tampilan untuk menampilkan data pada *smartphone* menggunakan aplikasi *serial bus bluetooth* dan efektivitas terhadap masing-masing sudut panel.

Susunan rangkaian disusun seperti pada Gambar 14 dan Gambar 15. Semua sensor disusun pada system pengukuran solar panel meliputi sensor INA219, sensor BH1750 dan sensor DS18B20. Komponen lain seperti mikrokontroler arduino, modul relay, SCC, dan batrai disusun pada sebuah *board* akrilik yang diletakkan di belakang solar panel yang dapat dilihat pada Gambar 3.

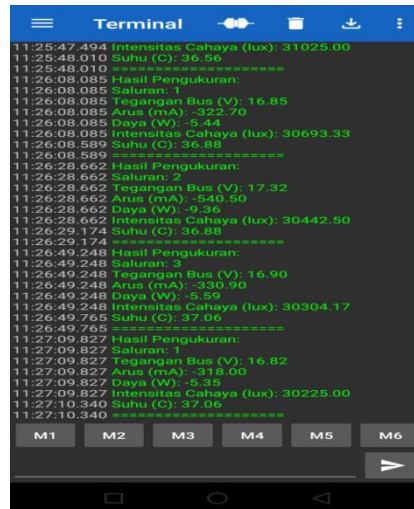


Gambar 3. Hasil desain system pengukuran

Pada Gambar 3 merupakan tampilan fisik dari system pengukuran. Berikut keterangan dari komponen penyusun system pengukuran:

1. SCC (*Solar charge controller*)
2. Batrai aki 12 Volt
3. Arduino uno
4. *Relay 3 channel*
5. *Projectboard* untuk rangkaian
6. Sensor BH1750
7. Sensor INA219
8. Sensor DS18B20

Sistem tersebut memperoleh daya dari batrai yang digunakan, untuk penyambungan daya yang dibutuhkan system digunakan kabel *uploader* pada Arduino yang di sambungkan ke *port* SCC. Selanjutnya desain tampilan *smartphone* menggunakan aplikasi *serial terminal bluetooth*. Desain data *logger* ini menggunakan bantuan modul *bluetooth* untuk mentransmisikan data ke aplikasi tersebut. Pada sistem ini terdapat beberapa tampilan data yaitu pengukuran *realtime* dari semua parameter yang diukur dilengkapi dengan waktu dan penyimpanan data secara otomatis. Untuk lebih jelasnya tampilan dari desain data *logger* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Tampilan data logger pada smartphone

Dapat dilihat pada Gambar 4 terdapat hasil pengukuran pada masing-masing parameter yang diukur dengan rentang waktu pengukuran per 1 menit. Terdapat 3 saluran yang diukur, saluran tersebut merupakan indicator dari setiap pergantian pengukuran yang dilakukan oleh *relay* sesuai dengan sudut yang telah ditetapkan. Pada pembuatan system data *logger* tidak perlu penambahan pada program mikrokontroller, cukup memasang modul *Bluetooth* pada pin TX dan RX di *board* Arduino, selanjutnya menyambungkan modul *Bluetooth* dengan *Bluetooth* pada *smartphone*.

Selanjutnya pada instalasi system pengukuran efektivitas ini menggunakan 3 sudut uji pada solar panel yang dipasang pada masing-masing *holder* yang sudah ditetapkan sudutnya. *Holder* dirancang menggunakan pipa dan ditetapkan masing-masing sudutnya menggunakan busur, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.

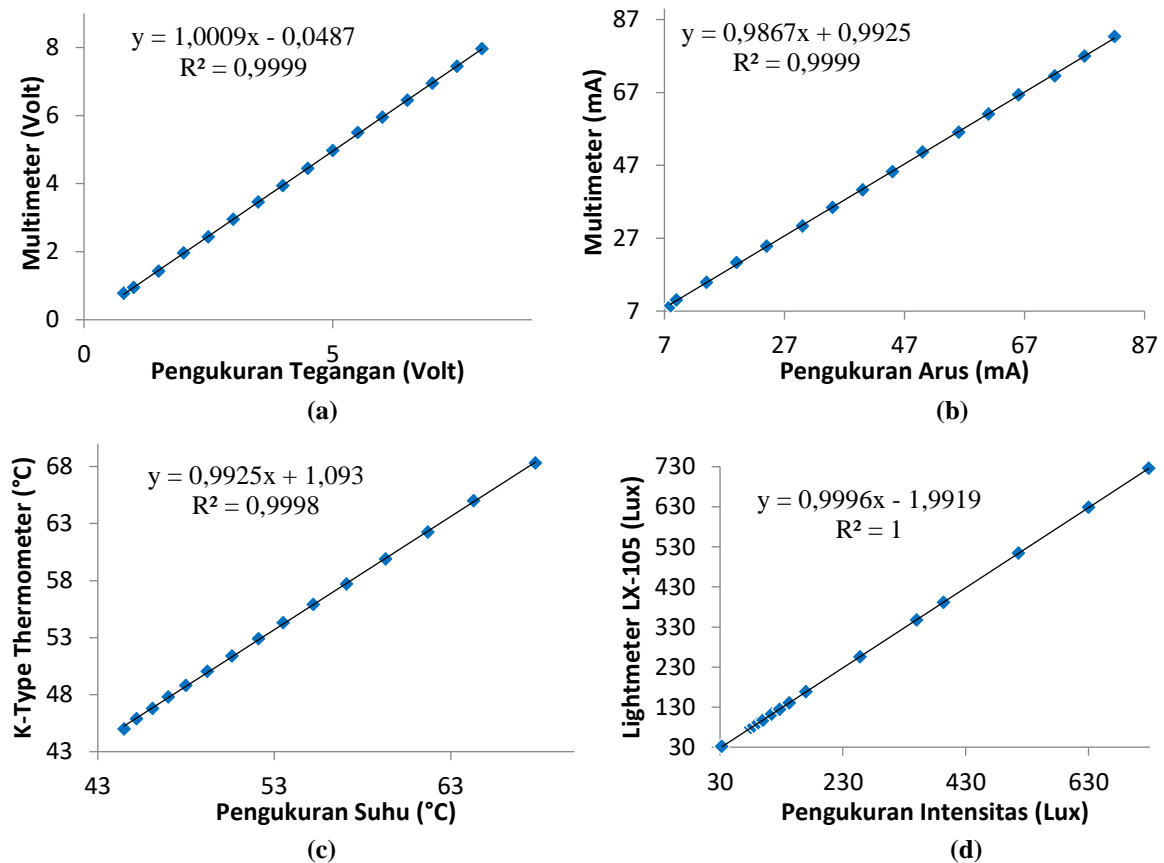


Gambar 5. Instalasi system pengukuran efektivitas solar panel

Pada Gambar 5 merupakan tampilan dari desain peningkatan efektivitas terhadap 3 sudut solar panel yang mana dibuat berbentuk penyangga dengan sudut yang bisa diatur sesuai dengan sudut yang akan diteliti. Untuk cara pengukuran dan settingan sudutnya dirujuk berdasarkan studi literatur, dimana pada penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya menyatakan untuk intensitas dan penyerapan daya yang paling tinggi adalah mengarah ke arah timur[13].

Spesifikasi desain didapat dari hasil pengukuran yang dilakukan pada saat penelitian. Data yang diperoleh diambil dari penyimpanan data *logger*. Sistem ini memiliki 3 buah sensor dengan 3 jenis parameter fisika yang akan dicari spesifikasi desainnya. Besaran fisika yang diukur yaitu daya panel, suhu permukaan panel, dan intensitas cahaya dengan 3 sensor yaitu sensor INA219, sensor BH1750 dan

sensor DS18B20. Pada spesifikasi desain yang dicari adalah karakterisasi sensor dari system dan pengukuran peningkatan efektivitas pada 3 sudut panel dengan 3 variasi lokasi di kota Padang. Berikut adalah grafik karakteristik tiap sensor yang digunakan pada system dapat dilihat pada Gambar 6.

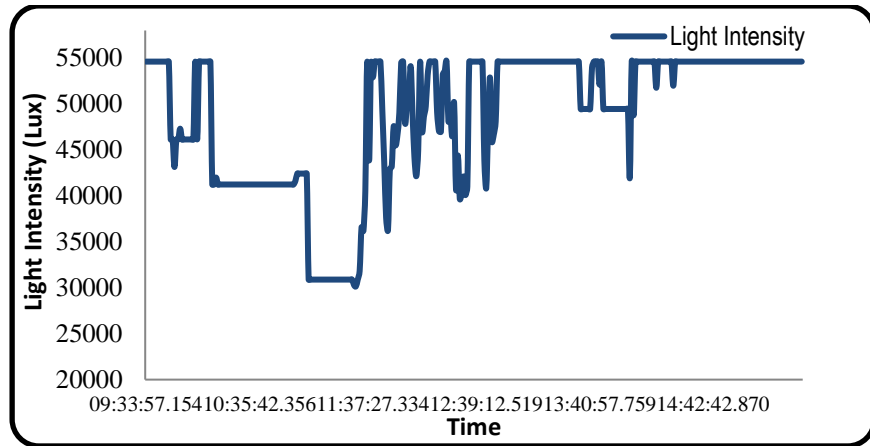


Gambar 6. (a) Karakterisasi sensor INA219 (Tegangan), (b) Karakterisasi sensor INA219 (Arus), (c) Karakterisasi sensor suhu, dan (d) Karakterisasi sensor BH1750

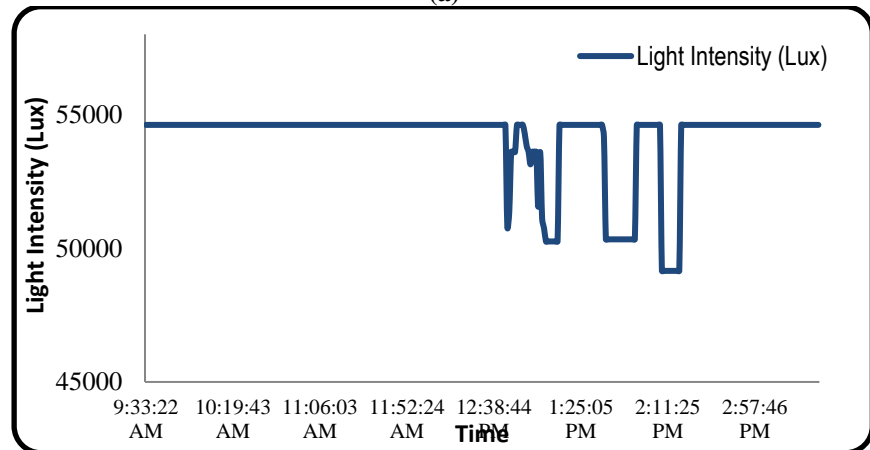
Pada sensor INA219 dilakukan karakterisasi dengan melihat linearitas sensor terhadap alat ukur standar yang dapat mengukur parameter yang sama yaitu multimeter, dari hasil uji linearitas didapatkan hasil yang sangat bagus pada linearitas pengukuran pada parameter tegangan dan arus yaitu dengan nilai R-Square 0,999 pada masing-masing parameter. Selanjutnya adalah karakterisasi sensor DS18B20 dengan melakukan uji linearitas terhadap alat standar k-type thermometer, kedua sensor dilakukan pengukuran pada kondisi yang sama sehingga dilihat hasil dari masing-masing pembacaan suhu, hasil yang didapatkan pada uji linearitas sensor DS18B20 dengan nilai 0,9998. Dan yang terakhir adalah karakterisasi sensor BH1750 dengan melakukan uji linearitas terhadap alat standar lightmeter, kedua alat diberikan kondisi yang sama dalam pengujian linearitas dari sensor dengan memvariasikan jarak sumber cahaya terhadap kedua alat, sehingga didapatkan nilai linearitas sensor adalah R-Square 1. Dari ketiga pengujian linearitas sensor tersebut terhadap alat standar yang digunakan mengindikasikan bahwa sensor yang digunakan sangat sensitive dan linear dengan alat ukur standar dan juga sesuai terhadap spesifikasi pabrikan dari sensor.

Selanjutnya pengukuran peningkatan efektivitas solar panel dilakukan dengan mengukur semua parameter yaitu daya yang dihasilkan panel pada masing-masing sudut, suhu permukaan panel, dan intensitas cahaya sebagai indicator cuaca. Pengukuran dilakukan selama 3 hari pada kondisi cerah

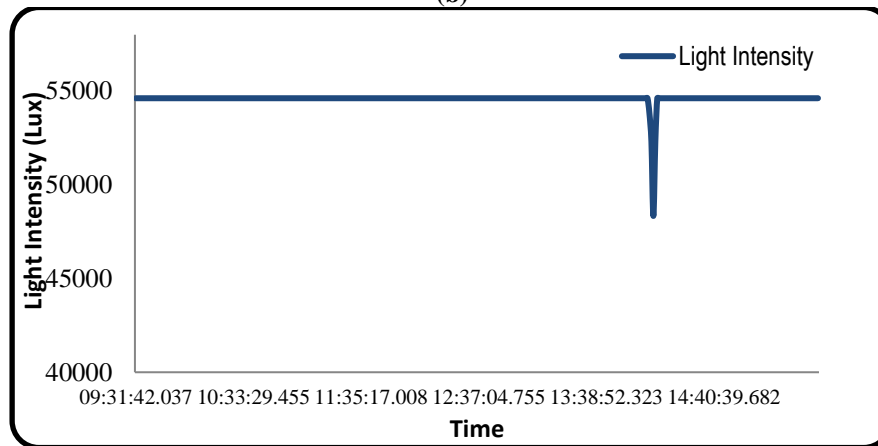
dengan 3 lokasi berbeda yaitu perkotaan, perbukitan, dan pantai. Waktu pengukuran yang diambil tanggal 24 Juli 2023 untuk perkotaan dengan kondisi cuaca cerah berawan, tanggal 26 Juli 2023 untuk perbukitan dengan kondisi cuaca cerah sedikit berawan, dan 27 Juli 2023 untuk pantai dengan kondisi cuaca cerah sedikit berawan. Data diambil selama 6 jam (09.30-15.30 WIB) dengan rentang data 1 menit. Pada hasil, data disajikan dalam bentuk grafik terdiri dari grafik intensitas cahaya sebagai indicator cuaca, grafik suhu permukaan panel, dan grafik daya pada 3 variasi sudut untuk 3 lokasi pengukuran, berikut ditampilkan hasil pengukuran pada lokasi perkotaan yang dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



(a)



(b)



(c)

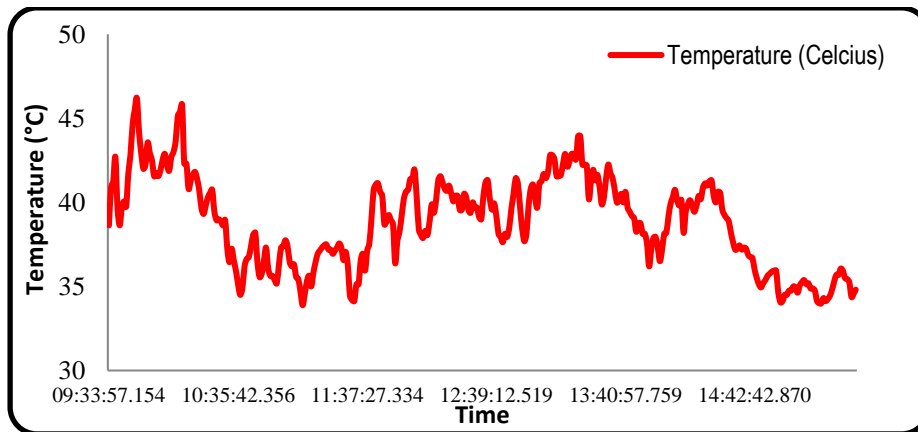
Gambar 7. (a) Grafik intensitas cahaya pada lokasi perkotaan, (b) Grafik intensitas cahaya pada lokasi perbukitan, dan (c) Grafik intensitas cahaya pada lokasi pantai

Daerah perbukitan, perkotaan, dan pantai memiliki intensitas dan suhu yang berbeda. Dimana pada dataran tinggi dipengaruhi oleh kerapatan vegetasi. Sehingga suhu diperbukitan lebih rendah daripada kota dan pantai karena kerapatan vegetasi yang tinggi. Pada perkotaan terdapat keseimbangan vegetasi yang memberikan keseimbangan pada suhu panas yang ditimbulkan. Pada saat suhu permukaan solar panel tinggi daya serap panel akan berkurang. Hal ini dapat dilihat pada lokasi pengukuran perbukitan dan pantai pada penelitian ini, dimana pemanenan energy pada dua lokasi ini tidak jauh berbeda hasilnya akibat intensitas cahaya yang konstan pada solar panel dapat meningkatkan suhu permukaan panel, dan pengaruh suhu lingkungan antara pantai dan perbukitan juga mempengaruhi hasil yang didapatkan pada kedua lokasi ini.

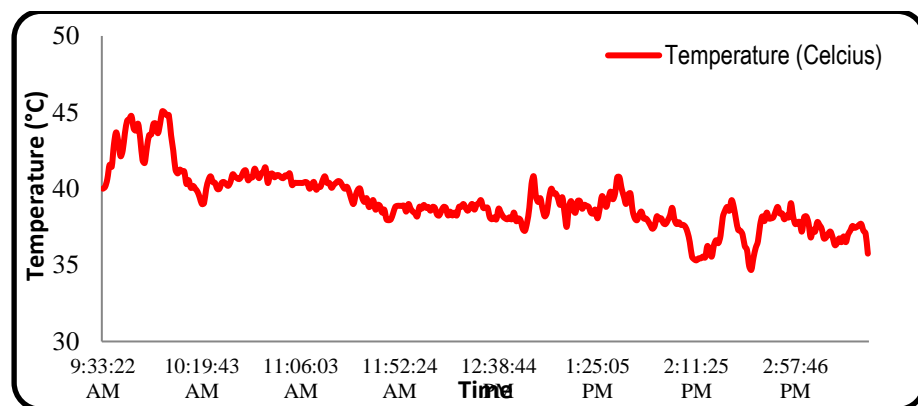
Berdasarkan grafik pada Gambar 7a menjelaskan terjadinya perubahan tingkat intensitas cahaya yang diterima oleh sensor BH1750. Intensitas maksimum yang diterima ketika cuaca cerah adalah 54612,5 Lux. Dapat dilihat pada grafik terdapat perubahan data yang cukup fluktuatif, hal ini dikarenakan pada saat pengambilan data posisi matahari tertutup oleh awan beberapa saat, sehingga mengakibatkan nilai intensitas cahaya berubah-ubah intensitas cahaya terendah yang diterima oleh solar panel adalah 30144,17 Lux pada pukul 11:02 WIB. Perubahan nilai ke arah minimum pada grafik mengindikasikan cahaya matahari yang tertutup oleh awan, dan perubahan nilai ke arah maksimum mengindikasikan cahaya matahari diserap tanpa penghalang. Perubahan dari intensitas cahaya ini dapat mengakibatkan pengaruh yang cukup signifikan terhadap perubahan suhu, hal ini dikarenakan terhalangnya radiasi matahari ke solar panel sehingga mengakibatkan nilai suhu di permukaan panel fluktuatif mengikuti dari perubahan tingkat intensitas cahaya yang diterima oleh solar panel.

Berdasarkan grafik pada Gambar 7b menjelaskan terjadinya perubahan tingkat intensitas cahaya yang diterima oleh sensor BH1750. Intensitas maksimum yang diterima ketika cuaca cerah adalah 54612,5 Lux. Dapat dilihat pada grafik terdapat perubahan data yang cukup fluktuatif dari 12:39-14:18 WIB, hal ini dikarenakan pada saat pengambilan data posisi matahari tertutup oleh awan beberapa saat, sehingga mengakibatkan nilai intensitas cahaya berubah-ubah intensitas cahaya terendah yang diterima oleh solar panel adalah 49153,33 Lux pada pukul 14:08 WIB. Perubahan nilai ke arah minimum pada grafik mengindikasikan cahaya matahari yang tertutup oleh awan, dan perubahan nilai ke arah maksimum mengindikasikan cahaya matahari diserap tanpa penghalang.

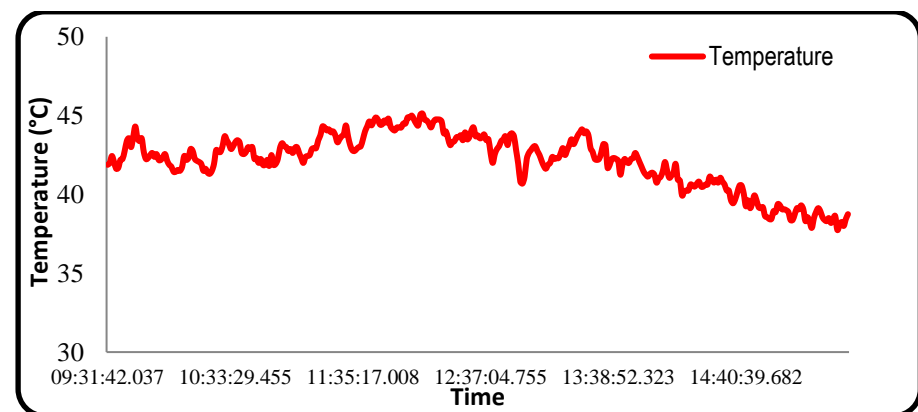
Berdasarkan grafik pada Gambar 7c menjelaskan terjadinya perubahan tingkat intensitas cahaya yang diterima oleh sensor BH1750. Intensitas maksimum yang diterima ketika cuaca cerah adalah 54612,5 Lux. Dapat dilihat pada grafik nilai intensitas cahaya pada saat pengambilan data cukup stabil, penurunan intensitas cahaya hanya terjadi pada pukul 14:03 WIB dengan nilai intensitas cahaya 48334 Lux, hal ini dikarenakan posisi matahari tertutup oleh awan. Perubahan nilai ke arah minimum pada grafik mengindikasikan cahaya matahari yang tertutup oleh awan, dan perubahan nilai ke arah maksimum mengindikasikan cahaya matahari diserap tanpa penghalang. Selanjutnya pengukuran suhu permukaan panel, sensor suhu diletakkan pada permukaan solar panel untuk melihat pengaruh dari perubahan suhu terhadap daya serap solar panel. Tampilan data untuk perubahan suhu pada permukaan solar panel dapat dilihat pada Gambar 8.



(a)



(b)



(c)

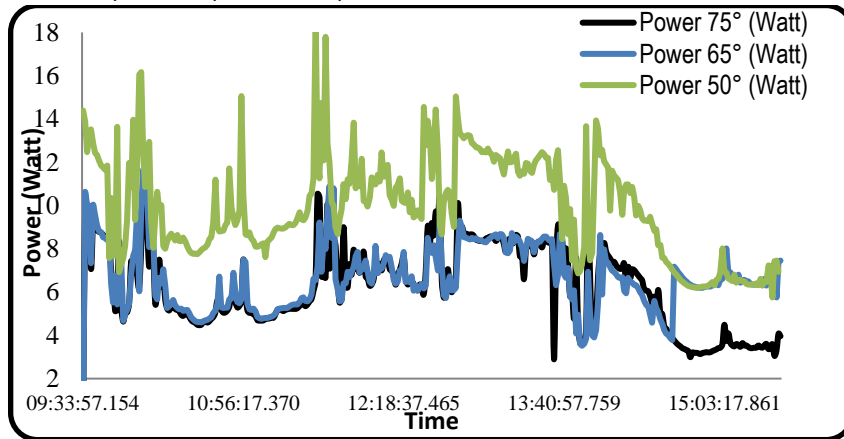
Gambar 8. (a) Grafik suhu permukaan panel pada lokasi perkotaan, (b) Grafik suhu permukaan panel pada lokasi perbukitan, dan (c) Grafik suhu permukaan panel pada lokasi pantai.

Berdasarkan grafik pada Gambar 8a menjelaskan terjadinya perubahan tingkat suhu permukaan solar panel yang diterima oleh sensor DS18B20. Suhu maksimum permukaan solar panel terjadi pada pukul 09:46 WIB dengan nilai suhu 45,5°C. Sedangkan suhu terendah permukaan solar panel terjadi pada pukul 11:06 WIB dengan nilai suhu 33,88°C. Hal ini bersesuaian dengan perubahan nilai intensitas cahaya yang terjadi karena ditutupi oleh awan.

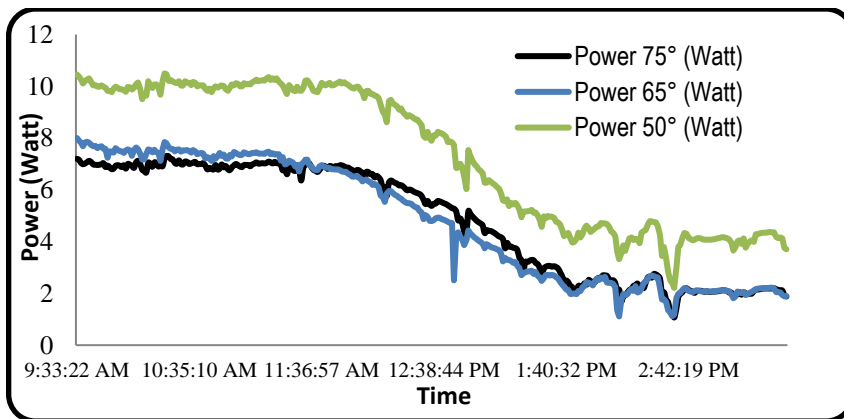
Selanjutnya berdasarkan grafik pada Gambar 8b menjelaskan terjadinya perubahan tingkat suhu permukaan solar panel yang diterima oleh sensor DS18B20. Suhu maksimum permukaan solar

panel terjadi pada pukul 10:01 WIB dengan nilai suhu 45,06°C. Sedangkan suhu terendah permukaan solar panel terjadi pada pukul 14:36 WIB dengan nilai suhu 34,94°C. Hal ini bersesuaian dengan perubahan nilai intensitas cahaya yang terjadi karna ditutupi oleh awan.

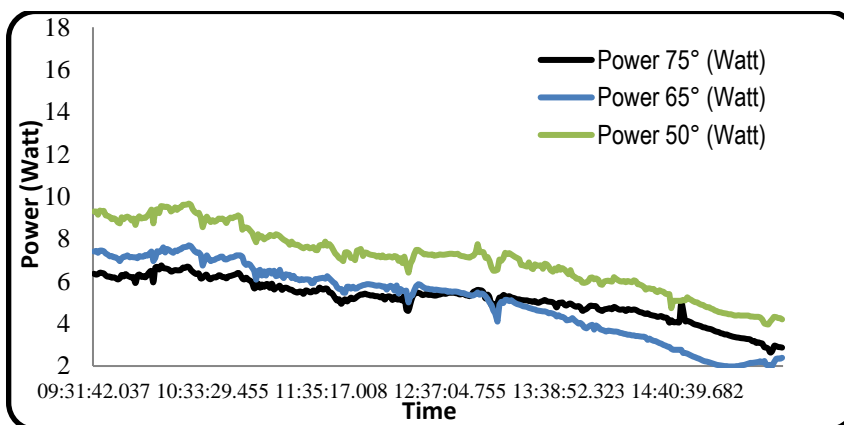
Selanjutnya berdasarkan grafik pada Gambar 8c menjelaskan terjadinya perubahan tingkat suhu permukaan solar panel yang diterima oleh sensor DS18B20. Suhu maksimum permukaan solar panel terjadi pada pukul 11:58 WIB dengan nilai suhu 45°C. Sedangkan suhu terendah permukaan solar panel terjadi pada pukul 15:12 WIB dengan nilai suhu 38,19°C. Dari 2 parameter data yang telah dijelaskan akan mempengaruhi hasil dari pemanenan energy dari 3 variasi sudut. Tampilan data untuk uji efektivitas solar panel dapat dilihat pada Gambar 9.



(a)



(b)



(c)

Gambar 9. (a) Grafik daya pada 3 variasi sudut pada lokasi perkotaan, (b) Grafik daya pada 3 variasi sudut pada lokasi perbukitan, (c) Grafik daya pada 3 variasi sudut pada lokasi pantai.

Berdasarkan grafik pengukuran **Gambar 9a** pada sudut 50° mendapatkan daya maksimal pada pukul 11.33 WIB dengan nilai 18,72 Watt, hal tersebut seiring dengan intensitas cahaya yang diserap maksimum dengan suhu permukaan panel 36,56°C. Daya minimum yang didapatkan pada sudut 50° pukul 15:27 WIB dengan nilai 5,75 Watt. Daya total yang dihasilkan pada sudut 50° di lokasi perkotaan adalah 3447,07 Watt. Efektivitas pada sudut 65° daya maksimal yang didapatkan terjadi pada pukul 10.03 WIB dengan nilai 11,66 Watt, dan daya minimum yang didapatkan pada sudut 65° terjadi pada pukul 13:50 WIB dengan nilai 3,52 Watt. Daya total yang dihasilkan pada sudut 65° adalah 2324,67 Watt. Selanjutnya pada sudut 75° daya maksimal yang didapatkan terjadi pada pukul 11.33 WIB dengan nilai 10,53 Watt, dan daya minimum yang didapatkan pada sudut 75° terjadi pada pukul 14:14 WIB dengan nilai 2,99 Watt. Daya total yang dihasilkan pada sudut 75° adalah 2162,16 Watt.

Berdasarkan grafik pengukuran **Gambar 9b** pada sudut 50° mendapatkan daya maksimal pada pukul 10:18 WIB dengan nilai 10,47 Watt, hal tersebut seiring dengan intensitas cahaya yang diserap maksimum dengan suhu permukaan panel 50°C. Daya minimum yang didapatkan pada sudut 50° pukul 14:35 WIB dengan nilai 2,21 Watt, dengan suhu permukaan panel 37°C. Daya total yang dihasilkan pada sudut 40° di lokasi perbukitan adalah 2566,3 Watt. Efektivitas pada sudut 65° daya maksimal yang didapatkan terjadi pada pukul 10:17 WIB dengan nilai 7,84 Watt, dan daya minimum yang didapatkan pada sudut 65° terjadi pada pukul 14:35 WIB dengan nilai 1,12 Watt. Daya total yang dihasilkan pada sudut 65° adalah 1679,35 Watt. Selanjutnya pada sudut 75° daya maksimal yang didapatkan terjadi pada pukul 10:18 WIB dengan nilai 7,31 Watt, dan daya minimum yang didapatkan pada sudut 75° terjadi pada pukul 14:35 WIB dengan nilai 1,07 Watt. Daya total yang dihasilkan pada sudut 75° adalah 1687,85 Watt.

Berdasarkan grafik pengukuran **Gambar 9c** pada sudut 50° mendapatkan daya maksimal pada pukul 10:21 WIB dengan nilai 9,67 Watt, hal tersebut seiring dengan intensitas cahaya yang diserap maksimum dengan suhu permukaan panel 41,31°C. Daya minimum yang didapatkan pada sudut 50° pukul 15:23 WIB dengan nilai 3,96 Watt. Daya total yang dihasilkan pada sudut 50° di lokasi perkotaan adalah 2461,22 Watt. Efektivitas pada sudut 65° daya maksimal yang didapatkan terjadi pada pukul 10:21 WIB dengan nilai 7,7 Watt, dan daya minimum yang didapatkan pada sudut 65° terjadi pada pukul 15:23 WIB dengan nilai 2,05 Watt. Daya total yang dihasilkan pada sudut 65° adalah 1779,03 Watt. Selanjutnya pada sudut 75° daya maksimal yang didapatkan terjadi pada pukul 10:21 WIB dengan nilai 6,69 Watt, dan daya minimum yang didapatkan pada sudut 75° terjadi pada pukul 15:23 WIB dengan nilai 2,64 Watt. Daya total yang dihasilkan pada sudut 75° adalah 1799,58 Watt.

Suhu lingkungan mempunyai dampak signifikan terhadap efektivitas dan kinerja panel surya. Ketika suhu meningkat, efektivitas panel surya cenderung menurun. Hal ini disebabkan oleh fenomena fisik yang disebut "koefisien suhu". Ketika suhu panel surya meningkat, medan listrik pada sel surya dapat bergeser, yang pada akhirnya mengurangi kemampuan sel dalam menghasilkan listrik. Oleh karena itu, penting untuk memahami bagaimana suhu lingkungan dapat mempengaruhi efektivitas panel surya [24]. Untuk melihat pengaruh suhu dilakukan di beberapa lokasi yang berbeda sehingga diperoleh lokasi yang efektif untuk menyerap daya yaitu perkotaan dengan sudut 50°.

Hasil pengukuran yang diperoleh sudut kemiringan panel surya sangat penting untuk memaksimalkan penerimaan sinar matahari. Dengan mengatur sudut kemiringan yang tepat, panel surya dapat menangkap sinar matahari secara efisien sepanjang tahun. Sudut yang tidak tepat dapat menyebabkan panel surya tidak menerima porsi sinar matahari secara optimal sehingga dapat

menurunkan produksinya. Hal ini sesuai dengan beberapa penelitian yang menjadi acuan penelitian ini mengenai penentuan sudut paling efektif dalam menyerap daya panel surya [23].

CONCLUSION

Hasil spesifikasi performansi sistem terbagi atas rangkaian sensor pada alat, data logger dan desain pengukuran di lapangan. Sistem pengukuran terdiri atas 3 sensor dan 3 parameter pengukuran yaitu sensor INA219 mengukur daya yang dihasilkan ketiga panel, sensor DS18B20 mengukur suhu permukaan panel, dan sensor BH1750 untuk mengukur intensitas cahaya. Hasil spesifikasi desain terdiri dari 3 bagian yaitu karakterisasi sensor, ketepatan sensor, dan ketelitian sensor. Untuk karakterisasi sensor dilakukan dengan menguji linearitas sensor pada masing-masing alat standar, didapatkan hasil linearitas sensor INA219 sebesar 0,999, sensor DS18B20 dengan nilai linearitas 0,998, dan sensor BH1750 dengan nilai linearitas 1. Nilai ketepatan masing-masing sensor adalah 97,5% (arus), 98,3% (tegangan), 98,7% (suhu), dan 99,7% (intensitas cahaya). Nilai ketelitian masing-masing sensor adalah 99,905% (arus), 99,996% (tegangan), 99,838% (suhu), dan 99,383% (intensitas cahaya). Hasil pengukuran efektivitas dengan menggunakan variasi sudut yaitu 50°, 65°, dan 75° pada 3 lokasi berbeda di kota Padang. Penyerapan daya di sudut 50° pada 3 lokasi berbeda didapatkan penyerapan daya 3447.07 Watt (Perkotaan), 2566.3 (Perbukitan), dan 2461 Watt (Pantai). Penyerapan daya di sudut 65 ° pada 3 lokasi berbeda didapatkan penyerapan daya 2324,67 Watt (Perkotaan), 1679,35 Watt (Perbukitan), dan 1779,03 Watt (Pantai). Penyerapan daya di sudut 75° pada 3 lokasi berbeda didapatkan penyerapan daya 2162,16 Watt (Perkotaan), 1687,85 Watt (Perbukitan), dan 1799,58 Watt (Pantai). Sehingga disimpulkan untuk sudut dan lokasi yang paling efektif untuk meningkatkan daya serap solar panel di kota Padang adalah lokasi perkotaan pada sudut 50°.

REFERENCES

- [1] Utomo Muhajir, "Dampak lingkungan pusat listrik tenaga fosil dan prospek pltn sebagai sumber energi listrik nasional .," *J. BATAN*, no. 1, pp. 39–50, 2018.
- [2] J. L. Holechek, H. M. E. Geli, M. N. Sawalhah, and R. Valdez, "A Global Assessment: Can Renewable Energy Replace Fossil Fuels by 2050?," *Sustain.*, vol. 14, no. 8, pp. 1–22, 2022, doi: 10.3390/su14084792.
- [3] T. Z. Ang, M. Salem, M. Kamarol, H. S. Das, M. A. Nazari, and N. Prabakaran, "A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions," *Energy Strateg. Rev.*, vol. 43, no. November 2021, p. 100939, 2022, doi: 10.1016/j.esr.2022.100939.
- [4] W. Strielkowski, E. Tarkhanova, M. Tvaronavič, and Y. Petrenko, "Renewable Energy in the Sustainable Development of Electrical," pp. 1–24, 2021.
- [5] A. O. M. Maka and J. M. Alabid, "Solar energy technology and its roles in sustainable development," *Clean Energy*, vol. 6, no. 3, pp. 476–483, 2022, doi: 10.1093/ce/zkac023.
- [6] S. Samsurizal, C. Christiono, and H. Husada, "Studi Kelayakan Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Dusun Toalang," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 9, no. 1, p. 75, 2020, doi: 10.36055/setrum.v9i1.7494.
- [7] H. Hardianto, "Utilization of Solar Power Plant in Indonesia: A Review," *Int. J. Environ. Eng. Educ.*, vol. 1, no. 3, pp. 1–8, 2019, doi: 10.55151/ijeedu.v1i3.21.
- [8] W. Nugroho, A. Nugroho, and B. Winardi, "Analisis Potensi Dan Unjuk Kerja Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Gedung Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro,"

- Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 181–188, 2020, doi: 10.14710/transient.v9i2.181-188.
- [9] N. A. Handayani and D. Ariyanti, "Potency of solar energy applications in Indonesia," *Int. J. Renew. Energy Dev.*, vol. 1, no. 2, pp. 33–38, 2012, doi: 10.14710/ijred.1.2.33-38.
- [10] I. B. A. Swamardika, I. W. A. Wijaya, and I. M. B. P. W, "Rancang Bangun Sistem Tracking Panel Surya Berbasis Mikrokontroler Arduino," *E-Journal SPEKTRUM*, vol. 2, no. 2, pp. 115–120, 2015.
- [11] O. Inganäs and V. Sundström, "Solar energy for electricity and fuels," *Ambio*, vol. 45, pp. 15–23, 2016, doi: 10.1007/s13280-015-0729-6.
- [12] A. El Hammoumi, S. Chtita, S. Motahhir, and A. El Ghzizal, "Solar PV energy: From material to use, and the most commonly used techniques to maximize the power output of PV systems: A focus on solar trackers and floating solar panels," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 11992–12010, 2022, doi: 10.1016/j.egyr.2022.09.054.
- [13] Y. Shalih and S. Suratno, "Pengaruh Arah Posisi Pemasangan Panel Surya Terhadap Output Daya Keluaran," *Just TI (Jurnal Sains Terap. Teknol. Informasi)*, vol. 11, no. 2, p. 12, 2019, doi: 10.46964/justti.v11i2.145.
- [14] R. Syafrialdi, "Rancang Bangun Solar Tracker Berbasis Mikrokontroler ATmega8535 dengan Sensor LDR dan Penampil LCD," *J. Fis. Unand*, vol. 4, no. 2, pp. 113–122, 2015.
- [15] K. E. N'Tsoukpoe, "Effect of orientation and tilt angles of solar collectors on their performance: Analysis of the relevance of general recommendations in the West and Central African context," *Sci. African*, vol. 15, p. e01069, 2022, doi: 10.1016/j.sciaf.2021.e01069.
- [16] M. S. Khan, M. A. M. Ramli, H. F. Sindi, T. Hidayat, and H. R. E. H. Boucekara, "Estimation of Solar Radiation on a PV Panel Surface with an Optimal Tilt Angle Using Electric Charged Particles Optimization," *Electron.*, vol. 11, no. 13, 2022, doi: 10.3390/electronics11132056.
- [17] Y. Defa Pranata, Sulanjari, and J. Setiyono, "Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya 100 WP Yang Dipasang Seri Terhadap Daya Yang Dihasilkan," *J. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 51–69, 2022.
- [18] N. P. Sartono, E. Ridwan, and H. Mohammad, "Pengaruh Perbedaan Posisi Sudut Kemiringan Panel Surya 120 Watt Peak Terhadap Peningkatan Efisiensi," pp. 246–253, 2021.
- [19] F. S. Putri *et al.*, "Rancang Bangun PLTS Kapasitas 50 Wp Menggunakan Reflektor untuk Meningkatkan Efisiensi Panel Surya," *Pros. 13th Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, pp. 13–14, 2022.
- [20] Abdullah and H. Moh. Zainal, "Sistem Monitoring Penentuan Pergerakan Posisi Panel Surya Terintegrasi Internet Of Things," vol. 7, no. 2, pp. 102–108, 2021.
- [21] Yulkifli *et al.*, "Optimization of Soil Temperature and Humidity Measurement System at Climatology Stations with IoT-Based Equipment," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 13, no. 4, pp. 1566–1574, 2023, doi: 10.18517/ijaseit.13.4.18963.
- [22] K. Septa and M. Berlian, "MEDICINE , AND BIOLOGY A Low-cost Digital Spectrophotometer for Heavy Metal Absorbance Measurements," vol. 66, no. 1, pp. 147–155, 2023, doi: 10.1134/S0020441223010256.
- [23] R. Pido, R. H. Boli, M. Rifal, W. Rauf, N. Shanti, and R. R. Day, "TERHADAP OPTIMASI DAYA PANEL SURYA," vol. 10, no. 2, pp. 234–240, 2022.
- [24] P. Kusumaning Tiyas and M. Widartono, "Pengaruh Efek Suhu Terhadap Kinerja Panel Surya," *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 1, pp. 871–876, 2020.