

# RANCANG BANGUN SOLAR TRACKER DUAL AXIS BERBASIS IOT (INTERNET OF THING)

<sup>1</sup>Zidane Syahtuta, <sup>2</sup>Munnik Haryanti  
<sup>1,2</sup> Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma

## Abstrak

*Penelitian ini mengujicoba efisiensi solar panel menggunakan sistem solar tracker, dimana panel surya mengikuti posisi pergerakan matahari yang tepat. Solar tracker bisa meningkatkan produksi listrik 20-50%, tergantung jenis dan lokasi. Empat sensor LDR dalam sistem solar tracker mengatur panel vertikal dan horizontal dengan dua motor aktuator linear. Sensor tambahan seperti PZEM-017, BH1750, dan MPU6050 memberikan parameter penting dalam perhitungan efisiensi sistem Solar tracker. dimana solar panel polycrystalline dalam kondisi statis dan kondisi Dinamis dalam rentang pembacaan waktu 9 jam terhitung mulai pukul 08.00 WIB hingga 16.00 WIB. Rata-rata efisiensi yang dihasilkan oleh solar panel pada kondisi ini mencapai 28,69 %. Dan pada kondisi dinamis efisiensi 40,97 %. Hasil ini menyoroti pentingnya penyesuaian dan adaptabilitas dalam memaksimalkan potensi energi matahari. Dimana pada kondisi dinamis sistem solar tracker menunjukkan hasil energi yang lebih besar dari kondisi statis, panel surya dalam kondisi dinamis menjadikan solusi yang lebih dari efisiensi solar panel.*

**Kata Kunci:** energi surya, solar tracker, PZEM-017, BH1750, MPU6050

## 1. PENDAHULUAN

Energi listrik adalah salah satu energi utama yang telah menjadi kebutuhan penting dalam menunjang segala aktifitas manusia sehari-hari. Sumber energi listrik yang sering kita gunakan berasal dari bahan bakar fosil seperti batu bara, gas alam atau minyak bumi. Akan tetapi dilihat dari penggunaan energi listrik semakin tinggi dikalangan masyarakat dan polusi udara yang dihasilkan dari pembangkit listrik bahan bakar fosil dapat mengakibatkan krisis energi di Indonesia. Apalagi PLN (Perusahaan Listrik Negara) masih menggunakan bahan bakar fosil untuk memproduksi listrik yang kita pakai. Our World in Data mencatat 86,95% dari total produksi listrik Indonesia tahun 2020 berasal

dari bahan bakar fosil. Angka ini turun sedikit dari 88,73% pada tahun 2019. Pada tahun 2020, produksi listrik nasional yang berasal dari bahan bakar fosil tercatat mencapai 239 terawatt jam (TWh). [1] Salah satu solusi ialah menggunakan pembangkit listrik dari energi alternatif sebagai pengganti penggunaan bahan bakar fosil.

Sumber energi alternatif dapat dilihat dari dua aspek, yaitu sumber energi baru dan sumber energi terbarukan. Sumber energi baru merujuk pada energi yang dihasilkan melalui teknologi baru, baik itu berasal dari sumber energi terbarukan maupun sumber energi tak terbarukan. Contoh sumber energi tak terbarukan meliputi nuklir, hidrogen, gas metana dari batu bara (coal bed methane),

batu bara tercairkan (liquified coal), dan batu bara tergaskan (gasified coal). Sumber energi terbarukan, di sisi lain, adalah energi yang dihasilkan dari sumber daya yang dapat diperbarui secara berkelanjutan jika dikelola dengan baik. Contohnya termasuk panas bumi, bioenergi, tenaga air dari aliran dan terjunan air, perbedaan suhu lapisan laut, energi angin, dan energi surya. [2]

Potensi sumber Energi Baru Terbarukan (EBT) yang beragam di Indonesia sangat melimpah. Ketersediaan yang melimpah ini memberikan peluang bagi Indonesia untuk mencapai kemandirian energi dan memiliki ketahanan energi yang memadai. Potensi EBT, terutama energi surya sebagai sumber pembangkitan energi listrik, memiliki potensi yang baik dan merata di seluruh wilayah Indonesia. Keadaan ini disebabkan oleh fakta bahwa Indonesia secara astronomis terletak di sekitar garis khatulistiwa, sehingga sinar matahari tersedia sepanjang tahun. Keunggulan dalam memanfaatkan energi surya termasuk ketersediaan sumber energi yang mudah, ramah lingkungan, dan dapat digunakan dalam berbagai kondisi geografis. [2]

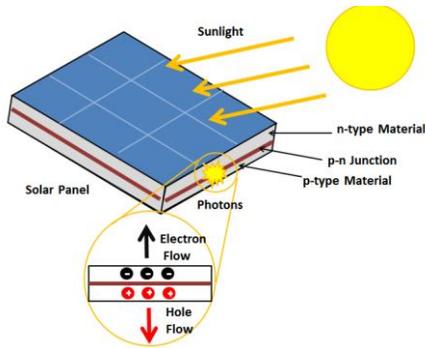
Panel surya umumnya digunakan dalam kondisi statis, meskipun intensitas cahaya matahari selalu berubah tergantung sudut matahari terhadap panel surya. Kondisi statis tersebut mengakibatkan penyerapan intensitas cahaya matahari oleh panel surya tidak optimal. Untuk mencapai penyerapan yang optimal, panel surya perlu berada pada posisi tegak lurus terhadap sinar matahari. Untuk mencapai hal ini, diperlukan penggunaan alat penjejak matahari yang dapat mengikuti pergerakan matahari sepanjang hari.

Alat penjejak cahaya matahari atau bisa disebut juga solar tracker dimana panel surya dapat mengikuti arah datang sinar matahari yang dapat memaksimalkan produksi listrik pada panel surya. [3] Dengan menggunakan solar tracker kekuatannya bisa meningkat berkisar antara 20-50 persen bergantung pada jenis tracker yang digunakan dan juga lokasi dari PLTS.[4] Solar tracker ini bergerak mengikuti cahaya matahari dengan rangkaian tracker menggunakan empat sensor LDR yang diletakan pada bagian utara, selatan dan timur, barat sebagai penjajak sumbu vertikal dan horizontal dengan dua penggerak motor aktuator disetiap sumbunya. Adapun sensor tambahan yang digunakan seperti PZEM-017, BH1750 dan MPU6050 yang berfungsi sebagai penyedia parameter-parameter yang dibutuhkan untuk mendapatkan perhitungan efisiensi dari sistem Solar tracker.

## **2. LANDASAN TEORI**

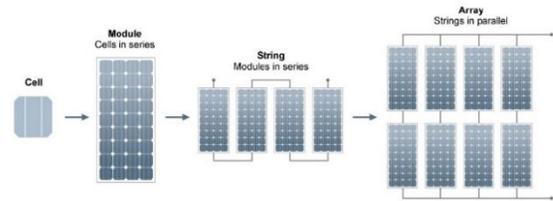
### **2.1 Sel Surya**

Sel surya atau fotovoltaik berfungsi sebagai komponen utama untuk mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Cahaya tersebut terdiri dari partikel energi yang disebut foton. Ketika foton atau energi cahaya mencapai permukaan sel surya, mereka mampu mendorong elektron yang bebas di dalam kristal silikon untuk bergerak ke luar melalui rangkaian eksternal dan kemudian kembali melalui sisi lain sel surya. Sel surya dapat terus menerima energi cahaya dengan intensitas tertentu. Berikut adalah gambaran tentang bagaimana pelepasan elektron terjadi di dalam sel surya.[2]



Gambar 1 Pelepasan elektron sel surya

Prinsip dasar operasi sel surya atau fotovoltaiik adalah mengambil keuntungan dari tumbukan partikel foton dalam sinar matahari dengan elektron di sambungan p-n, juga dikenal sebagai junction p-n. Tegangan pada junction ini diukur dalam satuan Volt (V). Taksonomi sel fotovoltaiik dapat dilihat dalam Gambar 2, di mana beberapa sel fotovoltaiik (sel surya) terhubung dalam satu rangkaian disebut modul fotovoltaiik (solar module). Modul fotovoltaiik kemudian dilindungi oleh bahan transparan seperti kaca dan aluminium. Tujuannya adalah melindungi sel fotovoltaiik dari lingkungan luar dan memastikan penggunaan yang optimal. Sejumlah modul fotovoltaiik yang terhubung secara elektrik dalam kerangka disebut panel fotovoltaiik (panel surya). Untuk mencapai tegangan nominal yang diinginkan, panel surya fotovoltaiik dihubungkan secara seri atau dalam bentuk string. Kombinasi dari beberapa panel surya yang terhubung secara struktural tetapi secara elektrik terpisah disebut larik fotovoltaiik (solar array). Larik fotovoltaiik dengan koneksi paralel digunakan untuk mencapai arus nominal yang diinginkan. Konfigurasi string dan larik memainkan peran penting dalam perencanaan untuk menentukan modul inverter. [2]



Gambar 2 Taksonomi sel surya

## 2.2 Efisiensi Panel Surya / Photovoltaiik

Perubahan kondisi lingkungan sekitar dapat memengaruhi kinerja panel surya, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi produksi listrik yang dihasilkan. Berikut ini adalah beberapa persamaan yang digunakan dalam perhitungan terkait hal ini:[5]

Rumus Daya Input:

$$P_{in} = I_r \times A \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- $P_{in}$  : daya input (watt)
- $I_r$  : intensitas irradiasi matahari (W/m<sup>2</sup>)
- $A$  : Luas area modul surya (m<sup>2</sup>)

Rumus *Fill faktor* (faktor pengisian) :

*Fill factor* adalah salah satu faktor yang digunakan untuk mengukur kinerja sel surya. *Fill factor* adalah perbandingan antara daya maksimum yang dihasilkan oleh sel surya dan perkalian antara tegangan sirkuit terbuka ( $V_{oc}$ ) dan arus sirkuit pendek ( $I_{sc}$ ). *Fill factor* adalah sebuah besaran tanpa satuan yang memberikan gambaran tentang efisiensi konversi energi dari sel surya.[5]

$$FF = \frac{V_{pm} \times I_{pm}}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- $V_{pm}$  : tegangan pada titik kerja maksimum

- $I_{pm}$  : arus pada titik kerja maksimum
- $V_{oc}$  : tegangan rangkaian terbuka (open circuit)
- $I_{sc}$  : arus hubung singkat (short circuit)

Ketika resistansi *variabel* memiliki nilai tak terhingga / sirkuit terbuka, arusnya akan minimal (nol), tetapi tegangannya akan maksimum. Tegangan ini dikenal sebagai tegangan hubung terbuka / sirkuit terbuka ( $V_{oc}$ ). Namun, ketika resistansi *variabel* bernilai nol, arusnya akan maksimum dan tegangannya akan minimum. Keadaan ini disebut sebagai arus hubung singkat / sirkuit pendek ( $I_{sc}$ ). Dari penjelasan tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai *fill factor* ( $FF$ ) pada sel surya, semakin baik kinerja sel surya tersebut, dan juga memiliki koefisien konversi energi yang lebih baik.[5]

Rumus Daya Output:

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- $P_{out}$  : Daya keluaran (Watt)
- $V_{oc}$  : Tegangan rangkaian terbuka sel surya (volt)
- $I_{sc}$  : Arus *short circuit* sel surya (Ampere)

Rumus Daya Maksimum:

$$P_{max} = I_{r_{max}} \times A \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

- $P_{max}$  : Daya Input Maksimum (watt)
- $I_{r_{max}}$  : Nilai Irradiasi Maksimum (W/m<sup>2</sup>)
- $A$  : Luas Panel (m<sup>2</sup>)

Efisiensi adalah ukuran dari seberapa baik kinerja suatu modul fotovoltaik dalam menyerap sinar matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Saat cuaca cerah nilai

irradiasi bisa mencapai 1000 W/m<sup>2</sup>, yang berarti bahwa apabila suatu panel mempunyai luasan 1 m<sup>2</sup> serta efisiensi yang didapat adalah sebesar 10 % maka daya yang dihasilkan sebesar 100 W. suatu panel surya memiliki efisiensi rata – rata sebesar 8-18 %. Jenis panel berbeda akan memiliki efisiensi yang juga berbeda tergantung dari bahan dasar pembuatannya. Cahaya matahari memiliki panjang gelombang dan tingkat energi yang berbeda, namun tidak semua dapat diserap oleh sel fotovoltaik. Efisiensi digunakan untuk membandingkan performa antara modul fotovoltaik yang satu dengan yang lain.[2]

Efisiensi sel surya saat ini bervariasi, mulai dari 11% hingga 46%, tergantung pada generasi dan teknologi yang digunakan, baik dalam skala komersial maupun laboratorium. Secara komersial, efisiensi modul fotovoltaik berbasis Kristal Silikon berada dalam kisaran 15% hingga 22%. Persamaan 5 hingga persamaan 6 menggambarkan nilai efisiensi dari suatu modul fotovoltaik, dengan mempertimbangkan lima parameter utama, yaitu arus hubung singkat, tegangan rankaian terbuka, faktor pengisi, radiasi matahari, dan area pengumpul.[2]

Rumus Efisiensi Panel Surya

$$\eta \frac{P_{out}}{P_{In}} \dots\dots\dots(5)$$

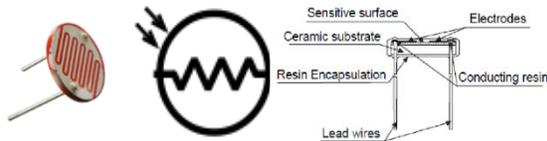
$$\eta \frac{I_{sc} \times V_{oc} \times FF}{IFF \times A_c} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:

- $\eta$  : Efisiensi modul fotovoltaik (%)
- $P_{out}$  : Daya maksimum yang dihasilkan sel fotovoltaik (W)
- $P_{In}$  : Daya masukan yang diterima sel fotovoltaik (W)

- $I_{SC}$  : Arus hubung singkat (mA)
- $V_{OC}$  : Tegangan rangkaian terbuka (mV)
- $FF$  : Faktor pengisi
- $IFF$  : Radiasi matahari ( $W/m^2$ )
- $A_c$  : Area pengumpul ( $m^2$ )

### 2.3 Prinsip Dasar Light Dependant Resistor (LDR)



Gambar 3 Light Dependant Resistor (LDR), Simbol, dan bagian LDR[6]

Sensor cahaya memiliki banyak jenisnya salah satunya adalah Light Dependent Resistor (LDR). Dimana nilai resistansi sensor yang dihasilkan oleh LDR ini tergantung pada intensitas cahaya yang diterimanya. Prinsip kerja dari sensor LDR ini tidak jauh beda dengan variable resistor dimana semakin besar nilai intensitas cahaya yang diterima maka semakin kecil nilai resistansinya, begitu pula sebaliknya semakin kecil nilai intensitas cahaya yang diterima maka semakin besar nilai resistansinya. [7]

### 2.4 Konversi Analog to Digital Converter pada LDR

Mikrokontroler yang digunakan adalah ESP32 Dev Kit V.1 yang dilengkapi dengan fitur ADC atau A/D (*Analog to Digital Converter*) berguna untuk merubah bersaran *analog* yang berupa tegangan menjadi bentuk tegangan digital. ADC pada mikrokontroler ini berjumlah 15 dengan mode 12 bit, mode ini memiliki jangkauan nilai bit dari 0 sampai

4095 ( $2^{12}$ ). Perhitungan hasil konversi ADC dengan mode 12 bit sebagai berikut :[8]

$$ADC: \frac{V_{in} \times \text{jumlah bit}}{V_{ref}} \dots\dots\dots(7)$$

$$V_{out}: \frac{ADC}{\text{jumlah bit}} \times V_{in} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan :

ADC : Hasil Konversi Tegangan Analog menjadi Digital

$V_{ref}$  : Input Tegangan Referensi dalam satuan volt

$V_{in}$  : Tegangan pin masukan ke ADC / Sensor

$V_{out}$  : Tegangan keluar pin ke ADC / Sensor

Jumlah Bit : Jumlah konversi nilai dari Bit mikrokontroler / 4095

### 2.5 Prinsip Dasar PZEM-017

PZEM-017 adalah sebuah modul komunikasi yang berfungsi untuk mengukur *output* DC baik tegangan, arus, daya reaktif maupun energi pada suatu sistem, modul ini dapat berkomunikasi kareba adanya *Modbus* dimana modul ini dapat dihubungkan melalui kabel atau *platform opensouce* lainnya. Modul ini dapat mengukur tegangan hingga 300 VDC dan arus pada rentang pemasangan *shunt* eksternal 50A hingga 300A.[9]

Modul ini berkerja berdasarkan prinsip *Efek hall*, *Efek Hall* pada PZEM-017 terjadi ketika arus listrik mengalir melalui konduktor yang terhubung dengan modul. *Efek Hall* adalah fenomena fisika di mana medan magnet yang diterapkan tegak lurus terhadap arus listrik menghasilkan tegangan

yang proporsional terhadap kuat medan magnet dan arus yang mengalir.[10]

Pada PZEM-017, Berdasarkan prinsip *efek Hall*, perubahan medan magnet akan menghasilkan tegangan yang proporsional terhadap arus listrik yang mengalir melalui sensor tersebut. Sensor arus *Hall* kemudian mengubah tegangan ini menjadi sinyal listrik yang dapat diukur dan ditampilkan pada layar atau dikirim ke perangkat lain untuk pengolahan data.[10]

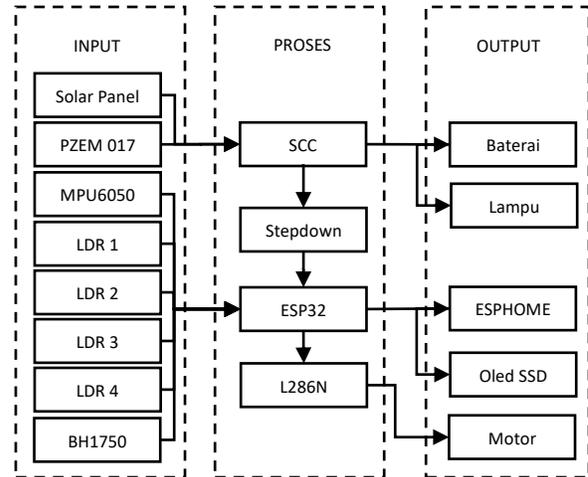
Dengan adanya sensor arus *Hall Effect* pada PZEM-017, modul ini dapat mengukur arus listrik secara akurat tanpa harus memotong atau menyambung kabel penghantar. Hal ini memudahkan pengguna dalam mengukur dan memantau konsumsi energi listrik dengan cepat dan aman.[10]



Gambar 4 PZEM 017 dan Blok Diagram[9]

### 3. METODE

Perancangan kotak pendingin ini dilakukan dengan mempertimbangkan sifat material, kemudahan dalam mencari komponen komponen yang dibutuhkan serta kelayakan dalam proses produksi. Gambar dibawah ini merupakan blok rancangan alat yang akan di buat.



Gambar 5 Blok Diagram Alat

Sebuah panel surya akan bergerak sesuai arah pergerakan matahari dan mengirimkan informasi seperti daya, arus, tegangan dan lainnya. Alat ini bekerja berdasarkan resistansi cahaya yang diterima oleh 4 sensor LDR yang telah dikonfigurasi sebagai pelacak sinar matahari dengan motor aktuator linear sebagai penggerak solar panel yang diatur nilai PWMnya melalui *Driver Motor* L298N, selanjutnya terdapat beberapa sensor yang mendukung sistem *solar tracker* ini seperti sensor BH1750 yang digunakan untuk mengukur nilai lux atau cahaya matahari yang terpancarkan pada permukaan solar panel, kemudian sensor MPU6050 yang digunakan untuk mengetahui posisi *solar tracker* ketika bergerak pada sumbu *horizontal* dan vertikal secara *gyroscope* dan sensor PZEM-017 yang dapat membaca nilai daya, arus dan tegangan yang dihasilkan solar panel mengirimkan sinyal berupa data ke mikrokontroler ESP32 DevKit V1 yang terhubung dengan konektivitas internet ke database *ESPHome Assistant* dan Oled SSD1306 sebagai penampil data *secara offline*. Dan energi listrik yang dihasilkan solar panel yang telah diatur keluarannya

oleh SCC (*Solar Charge Control*) disimpan ke dalam baterai dan dialirkan ke-beban yang dipakai.



Gambar 6 perancangan solar tracker

Pembuatan sistem mekanik didesain menggunakan Solidworks, solidworks merupakan perangkat lunak desain dan rekayasa yang kuat dan terintegrasi, yang memungkinkan pengguna untuk menciptakan, menganalisis, dan mendokumentasikan model 3D dengan presisi tinggi. Pembuatan sistem mekanik solar tracker dilakukan dengan membuat kerangka peletakan solar panel dan box instrument. Selain kerangka peletakan solar panel, dibuat juga kerangka mekanik untuk sumbu Horizontal dan Vertikal.

#### 4. PENGUJIAN

##### 4.1 Pengujian Sensor BH1750 pada kondisi Statis

Pengujian sensor cahaya BH1750 dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai intensitas cahaya yang diterima oleh modul surya. Data intensitas cahaya diambil dalam 9 pengukuran yang berbeda

pada tanggal 18 September 2023, dengan nilai tertinggi pada interval waktu tersebut dicatat dalam tabel. Data yang diperoleh dari sensor ditampilkan pada platform Home Assistant, sebagaimana tampak dalam gambar 12 Grafik Sensor BH1750 pada *ESPHome Assistant* di bawah ini:



Gambar 7 Grafik Sensor BH1750 pada *ESPHome Assistant*

Sensor ini menghasilkan output berupa nilai Lux, sehingga harus dikonversi menjadi intensitas radiasi matahari ( $\text{Watt/m}^2$ ) dimana :

$$1 \text{ Watt/m}^2 = 683 \text{ Lux}$$

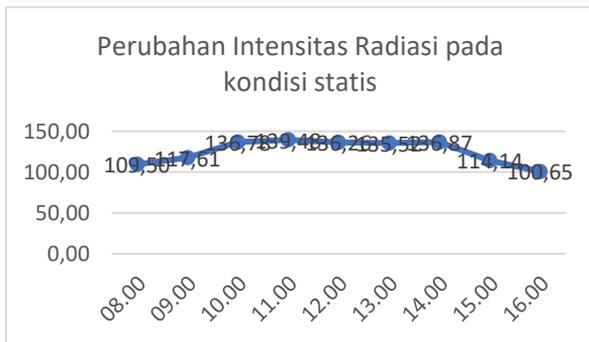
$$74789 \text{ Lux} = 109,50 \text{ Watt/m}^2$$

Tabel 1 Pengujian Sensor BH1750 kondisi statis

No	Waktu	Intensitas Cahaya (Lux)	Intensitas Radiasi ( $\text{W/m}^2$ )
1	08.00	74789	109,50
2	09.00	80328	117,61
3	10.00	93420	136,78
4	11.00	95266	139,48
5	12.00	93068	136,26

6	13.00	92563	135,52
7	14.00	93485	136,87
8	15.00	77959	114,14
9	16.00	68743	100,65
<b>Rata-Rata</b>		<b>85513,44</b>	<b>125,20</b>

Untuk mempermudah pembacaan data di atas maka dibuatlah sebuah grafik dari pembacaan sensor BH1750 dalam membaca intensitas cahaya seperti di bawah ini :

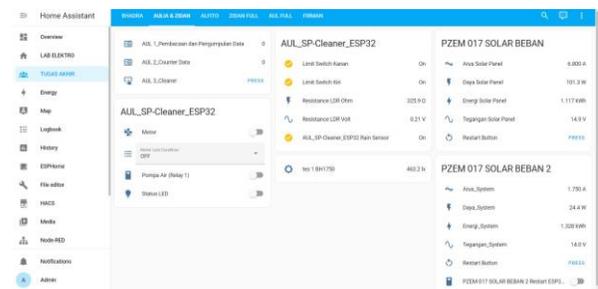


Gambar 8 Grafik Intensitas Radiasi Matahari

Grafik di atas menunjukkan perubahan intensitas radiasi matahari yang diterima oleh sensor cahaya BH1750 setelah dilakukan konversi dari nilai Lux menjadi Watt/m<sup>2</sup>. Pengambilan data intensitas radiasi ini diambil pada tanggal 18 September 2023, dengan rentang waktu 08.00 WIB hingga 16.00 WIB, menghasilkan nilai rata-rata intensitas radiasi yang diterima sebesar 125,20Watt/m<sup>2</sup>. Pada pukul 11.00 WIB memiliki nilai intensitas radiasi tertinggi sebesar 139,48 Watt/m<sup>2</sup> sedangkan nilai terendah didapatkan ketika pukul 16.00 WIB sebesar 100,65 Watt/m<sup>2</sup>.

## 4.2 Pengujian Efisiensi Solar Panel Kondisi Statis

Pengujian efisiensi panel surya pada kondisi statis dilakukan dengan menggunakan Sensor PZEM-017 dan BH1750 untuk mencatat parameter listrik seperti data Arus, Tegangan, Daya dan Radiasi matahari. Panel surya diletakkan tanpa pergerakan dan lingkungan sekitar tetap konstan. Data dari pengujian ini memberikan informasi tentang performa panel surya dalam kondisi diam dan membantu evaluasi efisiensi konversi energi matahari menjadi listrik pada situasi tanpa perubahan lingkungan yang signifikan. Data parameter listrik dari PZEM-017 dan Radiasi Matahari dari BH1750 adalah data yang dihasilkan oleh panel surya pada tanggal 18 September 2023 dengan rentang waktu 08.00 WIB hingga 16.00, kedua data tersebut, dapat dilihat di dashboard ESPHome Assistant.



Gambar 9 Dashboard ESPHome Assistant

Data yang ada pada tabel 1 Pengujian Sensor BH1750 kondisi statis intensitas radiasi matahari merupakan pembacaan tertinggi dengan rentang waktu satu jam selama 9 jam. Berikut ini merupakan pembacaan parameter listrik pada sensor

PZEM-017 seperti tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh panel surya pada kondisi statis.

Tabel 2 Pembacaan sensor PZEM-017

No	Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
1	08.00	19,5	2,23	43,49
2	09.00	19,9	4,29	85,37
3	10.00	20,6	4,61	94,97
4	11.00	20,8	4,84	100,67
5	12.00	21,8	5,95	129,71
6	13.00	21,3	4,91	104,58
7	14.00	20,5	4,49	92,05
8	15.00	19,7	4,51	88,85
9	16.00	19,6	3,72	72,91
<b>Rata-Rata</b>		<b>20,41</b>	<b>4,39</b>	<b>90,29</b>

Setelah mengumpulkan data berupa intensitas radiasi, tegangan serta arus yang dihasilkan oleh modul surya maka dapat dilakukan perhitungan mengenai efisiensi modul surya. Berikut ini merupakan tabel 3 efisiensi modul surya pada kondisi statis:

Tabel 3 Efisiensi solar panel pada kondisi Statis

No	Waktu	Pin (Watt)	FF (Watt)	Pout (Watt)	Efisiensi (%)
1	08.00	217,16	17,45	3390,48	15,61
2	09.00	233,25	34,26	6656,28	28,54
3	10.00	271,26	38,12	7404,39	27,30
4	11.00	276,62	40,41	7849,29	28,38
5	12.00	270,24	52,06	10113,35	37,42
6	13.00	268,77	41,98	8154,22	30,34
7	14.00	271,45	36,94	7176,65	26,44
8	15.00	226,37	35,66	6927,30	30,60
9	16.00	199,61	29,26	5684,87	28,48
<b>Rata-Rata</b>		<b>248,30</b>	<b>36,24</b>	<b>7039,65</b>	<b>28,12</b>

Keempat data di atas didapatkan dari persamaan berikut ini :

Luas Permukaan (A)

$$2(A) = 2(p \times l) = 2(1480 \times 670) = 1.983.200 \text{ mm}^2 = 1,9832 \text{ m}^2 \approx 1,98 \text{ m}^2$$

Maka dapat menghitung :

$$P_{in} = I_r \times A = 125,20 \times 1,98 = 248,30 \text{ Watt}$$

$$FF = \frac{V_{pm} \cdot I_{pm}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{20,41 \times 4,39}{22 \times 8,83} = 36,24 \text{ Watt}$$

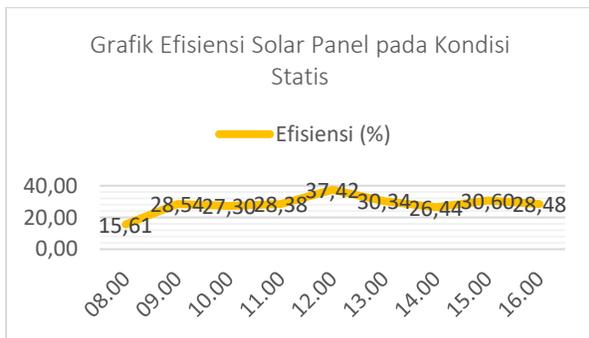
$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = 22 \times 8,83 \times 36,24 = 7039,65 \text{ Watt}$$

Setelah semua telah dihitung maka selanjutnya dapat menghitung efisiensi

modul surya dengan membuat perbandingan antara daya output dengan daya input seperti persamaan di bawah ini :

$$\eta = \frac{P. out}{P. in} \times 100\% = \frac{7039,65}{248,30} \times 100\% = 28,12 \%$$

Dengan data efisiensi di tabel tersebut maka dapat dibuat grafik seperti berikut :



Gambar 10 Grafik Efisiensi solar panel pada kondisi statis

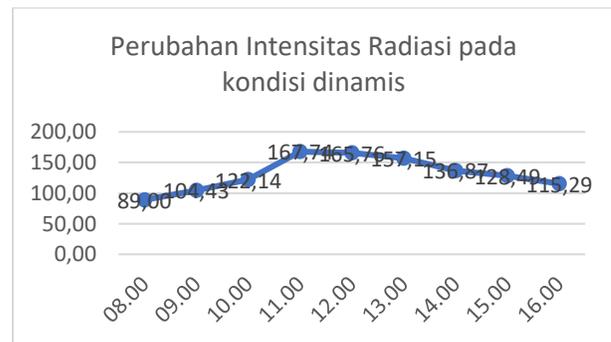
### 4.3 Pengujian Sensor BH1750 pada kondisi Dinamis Dengan Solar Tracker

Pengujian sensor cahaya BH1750 dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai intensitas cahaya yang diterima oleh modul surya pada kondisi dinamis. Data intensitas cahaya diambil dalam 9 pengukuran yang berbeda pada tanggal 19 September 2023, dengan nilai tertinggi pada interval waktu tersebut dicatat dalam tabel 4 dibawah :

Tabel 4 Pengujian Sensor BH1750

No	Waktu	Intensitas Cahaya (Lux)	Intensitas Radiasi (W/m2)
1	08.00	60789	89,00
2	09.00	71328	104,43
3	10.00	83420	122,14
4	11.00	114567	167,74
5	12.00	113211	165,76
6	13.00	107333	157,15
7	14.00	93485	136,87
8	15.00	87759	128,49
9	16.00	78743	115,29
<b>Rata-Rata</b>		<b>90070,56</b>	<b>131,87</b>

Untuk mempermudah pembacaan data di atas maka dibuatlah sebuah grafik dari pembacaan sensor BH1750 dalam membaca intensitas cahaya seperti di bawah ini :



Gambar 11 Grafik Intensitas Radiasi Matahari

Grafik di atas menunjukkan perubahan intensitas radiasi matahari yang diterima oleh

sensor cahaya BH1750 setelah dilakukan konversi dari nilai Lux menjadi Watt/m<sup>2</sup>. Pengambilan data intensitas radiasi ini diambil pada tanggal 18 September 2023, dengan rentang waktu 08.00 WIB hingga 16.00 WIB, menghasilkan nilai rata-rata intensitas radiasi yang diterima sebesar 131,87 Watt/m<sup>2</sup>. Pada pukul 11.00 WIB memiliki nilai intensitas radiasi tertinggi sebesar 165,76 Watt/m<sup>2</sup> sedangkan nilai terendah didapatkan ketika pukul 16.00 WIB sebesar 115,29 Watt/m<sup>2</sup>.

#### 4.4 Pengujian Efisiensi Solar Panel Kondisi Dinamis Dengan Solar Tracker

Pengujian efisiensi panel surya dengan *solar tracking* dilakukan dengan menggunakan Sensor PZEM-017 dan BH1750 untuk mencatat parameter listrik seperti data Arus, Tegangan, Daya dan Radiasi matahari. Panel surya diletakkan tanpa pergerakan dan lingkungan sekitar tetap konstan. Data dari pengujian ini memberikan informasi tentang performa panel surya dalam kondisi dinamis dan membantu evaluasi efisiensi konversi energi matahari menjadi listrik pada situasi tanpa perubahan lingkungan yang signifikan. Data parameter listrik dari PZEM-017 dan Radiasi Matahari dari BH1750 adalah data yang dihasilkan oleh panel surya pada tanggal 19 September 2023 dengan rentang waktu 08.00 WIB hingga 16.00, kedua data tersebut, dapat dilihat di dashboard ESPHome Assistant.

Data yang ada pada tabel 5 Pembacaan sensor PZEM-017 pada kondisi dinamis merupakan pembacaan tertinggi dengan rentang waktu satu jam, selama 9 jam.

Berikut ini merupakan tabel tegangan, arus yang dihasilkan oleh panel surya dengan menggunakan *solar tracking*.

Tabel 5 Pembacaan sensor PZEM-017 pada kondisi dinamis

No	Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
1	0,33	19,00	4,76	90,44
2	09.00	19,30	5,79	111,75
3	10.00	20,70	6,89	142,62
4	11.00	20,80	8,84	183,87
5	12.00	21,90	8,89	194,69
6	13.00	21,30	8,65	184,25
7	14.00	20,70	6,77	140,14
8	15.00	20,80	5,65	117,52
9	16.00	19,50	4,40	85,80
<b>Rata-Rata</b>		<b>20,44</b>	<b>6,74</b>	<b>139,01</b>

Setelah mengumpulkan data berupa intensitas radiasi, tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh modul surya maka dapat dilakukan perhitungan mengenai efisiensi modul surya. Berikut ini merupakan tabel 6 efisiensi modul surya pada kondisi dinamis:

Tabel 6 Efisiensi solar panel pada kondisi dinamis

No	Waktu	Pin (Watt)	FF (Watt)	Pout (Watt)	Efisiensi (%)
1	08.00	176,51	36,30	7051,51	39,95
2	09.00	207,11	44,85	8712,79	42,07
3	10.00	242,22	57,24	11120,16	45,91
4	11.00	332,66	73,80	14336,30	43,10
5	12.00	328,73	78,14	15179,84	46,18
6	13.00	311,66	73,95	14365,38	46,09
7	14.00	271,45	56,25	10926,48	40,25
8	15.00	254,82	47,17	9162,91	35,96
9	16.00	228,64	34,44	6689,73	29,26
<b>Rata-Rata</b>		<b>261,53</b>	<b>55,79</b>	<b>10838,34</b>	<b>40,97</b>

Keempat data di atas didapatkan dari persamaan berikut ini :

Luas Permukaan (A)

$$2(A) = 2(p \times l) = 2(1480 \times 670) = 1.983.200 \text{ mm}^2 = 1,9832 \text{ m}^2 \approx 1,98 \text{ m}^2$$

Maka dapat menghitung :

$$P_{in} = I_r \times A = 131,87 \times 1,98 = 261,53 \text{ Watt}$$

$$FF = \frac{V_{pm} \cdot I_{pm}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{20,44 \times 6,74}{22 \times 8,83} = 55,79 \text{ Watt}$$

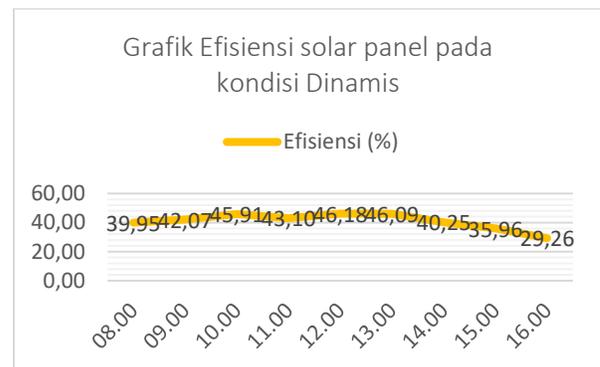
$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = 22 \times 8,83 \times 55,79 = 10838,34 \text{ Watt}$$

Setelah semua telah dihitung maka selanjutnya dapat menghitung efisiensi modul surya dengan membuat perbandingan

antara daya output dengan daya input seperti persamaan di bawah ini :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{10838,34}{261,53} \times 100\% = 40,97\%$$

Dengan data efisiensi dari tabel 6 tersebut maka dapat dibuat grafik seperti berikut :



Gambar 12 Grafik Efisiensi solar panel pada kondisi dinamis

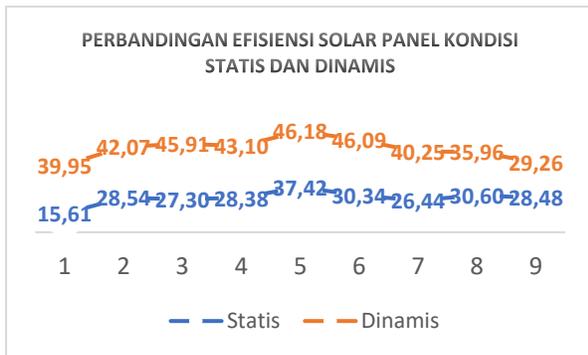
#### 4.5 Perbandingan Efisiensi Solar Panel Kondisi Statis dan Dinamis

Perbandingan efisiensi panel surya dalam kondisi statis dan dinamis dilakukan selama periode 9 jam, dari pukul 08.00 hingga 16.00 WIB, memberikan gambaran tentang bagaimana penyesuaian terhadap lingkungan dapat berdampak pada kinerja panel surya. Dalam kondisi statis, efisiensi panel surya tercatat sebesar 28,12 %, yang mencerminkan kemampuannya dalam menghasilkan energi listrik dengan tetap berada dalam posisi yang sama sepanjang waktu.

Sementara itu, dalam kondisi dinamis, dengan kemampuan panel surya untuk mengikuti pergerakan matahari,

efisiensinya mencapai 40,97 %. Kenaikan signifikan ini menunjukkan bahwa panel surya yang bergerak mengoptimalkan penerimaan sinar matahari sepanjang hari.

Hasil ini menyoroiti pentingnya penyesuaian dan adaptabilitas dalam memaksimalkan potensi energi matahari. Dimana pada kondisi dinamis sistem solar tracker menunjukkan hasil energi yang lebih besar dari kondisi statis, panel surya dalam kondisi dinamis menjadikan solusi yang lebih efisiensi dari solar panel.



Gambar 13 Perbandingan Efisiensi Kondisi Statis dan Dinamis

#### 4.6 Analisa

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pengujian efisiensi solar panel kondisi statis tersebut diantaranya adalah :

Pengaruh intensitas cahaya matahari dapat mempengaruhi baik pembacaan radiasi matahari pada sensor BH1750. Seperti yang tertera pada hasil pengujian dimana ketika pukul 16.00 pembacaan intensitas hanya mencapai 32,43 Watt/m<sup>2</sup> sehingga menyebabkan parameter listrik yang dibaca Sensor PZEM-017 tegangan dan arus yang dihasilkan hanya 19,6V dan 1,72A. Hal ini dikarenakan ketika pukul 16.00 sinar

matahari sudah tidak terlalu terang jika dibandingkan dengan waktu yang lain, selain itu faktor yang mempengaruhi kecilnya intensitas yang masuk adalah faktor cuaca.

Efisiensi modul surya pada kondisi statis mencapai 28,12 %, pada tanggal 18 September 2023 selama 9 jam dari pukul 08.00 hingga 16.00 WIB, menggambarkan kemampuan konversi energi matahari menjadi listrik dalam situasi tertentu. Faktor-faktor seperti variasi intensitas cahaya karena cuaca dan karakteristik modul sendiri dapat menyebabkan efisiensi rendah. Pada tanggal 19 September 2023 selama 9 jam dari pukul 08.00 hingga 16.00 WIB, Efisiensi modul surya pada kondisi dinamis mencapai 40,97 %. menggambarkan kemampuan solar tracker dapat meningkatkan konversi energi matahari.

Hasil ini dapat menjadi dasar evaluasi dan perbaikan teknologi panel surya, termasuk pengoptimalan desain, materi, dan strategi untuk meningkatkan efisiensi konversi energi matahari. Analisis ini mendukung tujuan pemanfaatan sumber energi yang lebih berkelanjutan dan efisien.

#### 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari rancangan dan pengujian yang telah dilakukan terhadap RANCANG BANGUN SOLAR TRACKER DUAL AXIS BERBASIS INTERNET OF THING (IOT) maka sebagai berikut :

1. Pada perancangan sistem *solar tracker* dimana setiap sensor yang digunakan seperti : Sensor BH1750 membaca Lux atau intensitas radiasi matahari, Sensor *gyroscope* membaca perubahan sudut X,Y,Z dan

sensor PZEM-017 membaca parameter listrik tegangan, arus, daya dan energi yang dihasilkan oleh solar panel dan sistem beban ini berkerja dengan cukup baik sehingga dapat digunakan dalam otomasi sistem tersebut.

2. Berdasarkan pengujian nilai efisiensi yang dihasilkan oleh solar panel dalam rentang pembacaan waktu 9 jam terhitung mulai pukul 08.00 WIB hingga 16.00 WIB. Dan Rata-rata efisiensi yang dihasilkan oleh solar panel pada kondisi statis mencapai 28,69 % . Dan Rata-rata efisiensi yang dihasilkan oleh solar panel pada kondisi dinamis dimana menggunakan sistem tracker mencapai 40,97 % . Sehingga dapat diketahui terdapat nilai selisih dari solar panel kondisi statis dan dinamis adalah 12,28% dimana kondisi dinamis atau penggunaan sistem *solar tracker* lebih baik dalam nilai efisiensi penggunaan solar panel

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dzulfiqar Fathur Rahman, “Proporsi Produksi Listrik Indonesia dari Bahan Bakar Fosil (2016-2020),” databoks.
- [2] H. Bernando Tambunan, Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Sleman: deepublish, 2020.
- [3] Institute of Electrical and Electronics Engineers Indonesia Section, E. Electrical Power, E. Electrical Power, and EECCIS 7 2014.08.27-28 Malang, 2014 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS) 27-28 Aug. 2014, Malang, Indonesia.
- [4] sanspower, “Memanfaatkan Teknologi Solar Tracker untuk Pemasangan Panel Surya,” PT. Java Surya Teknik.

Accessed: Jun. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.sanspower.com/solar-tracker-manfaatkan-teknologi-pemasangan-panel-surya.html>

- [5] D. Dahliya, S. Samsurizal, and N. Pasra, “Efisiensi Panel Surya Kapasitas 100 Wp Akibat Pengaruh Suhu Dan Kecepatan Angin,” SUTET, vol. 11, no. 2, pp. 71–80, Dec. 2021, doi: 10.33322/sutet.v11i2.1551.
- [6] Taufiq D.S Suyadhi, “Light Dependent Resistor (LDR),” Basic Electronic.
- [7] D. Aribowo, G. Priyogi, and S. Islam, “APLIKASI SENSOR LDR (LIGHT DEPENDENT RESISTOR) UNTUK EFISIENSI ENERGI PADA LAMPU PENERANGAN JALAN UMUM”.
- [8] Fiana, “Pengertian Sensor LDR, 2 Karakteristik & Manfaatnya,” CARAKAMI.COM.
- [9] “PZEM-003/017 DC communication module.”
- [10] “BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1 Mobil Listrik Sejarah Mobil Listrik.”
- [11] A. Mubarak 'aafi, J. Jamaaluddin, I. Anshory, and U. M. Sidoarjo, “SNESTIK Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika Implementasi Sensor Pzem-017 Untuk Monitoring Arus, Tegangan dan Daya Pada Instalasi Panel Surya dengan Sistem Data Logger Menggunakan Google Spreadsheet dan Smartphone,” p. 191, doi: 10.31284/p.snestik.2022.2718.
- [12] circuits4you.com, “ESP32 DevKit ESP32-WROOM GPIO Pinout,” circuits4you.com.
- [13] Ashish Choudhary, “MPU6050 Gyro Sensor Interfacing with ESP32 Board,” circuitdigest.com.

- [14] components101.com, “BH1750 – Ambient Light Sensor,” components101.com.
- [15] firgelliauto.com, “Electric Linear Actuators,” firgelliauto.com.
- [16] Admin\_AlfStudio, “1298n motor driver,” www.teknikelektro.com.
- [17] “COM-TTL-RS485\_Datasheet\_2022-08-01”.
- [18] lastminuteengineers.com, “Interface OLED Graphic Display Module with Arduino,” lastminuteengineers.com.
- [19] “User Manual Code: SCC-30A-PWM-LCD SOLAR CHARGE CONTROLLER SCC-30A-PWM-LCD.” [Online]. Available: <https://www.delta.poznan.pl>
- [20] Rony Setiawan, “Internet Of Thing,” dicoding. Accessed: Jun. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.dicoding.com/blog/apa-itu-internet-of-things/>
- [21] Vipul Varghese, “Internet of Things: Challenges and Opportunities,” LinkedIn.
- [22] blynk.io, “Blynk introduction ,” blynk.io.
- [23] esphome.io, “esphome introduction ,” esphome.io.

