

Implementasi PLTS Berbasis Solar Tracking untuk Penerangan Miniatur Rumah Gadang Sumatera Barat

Rafif Akbar Setiawan^{1*}, Muhammad Hafidin Zakaria², Muhammad Amir Yahya³, Ilham Syauqi Hizbullaha⁴, Rudi Susanto⁵

¹Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta

¹*240103145@mhs.udb.ac.id

²Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta

²240103137@mhs.udb.ac.id

³Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta

³240103258@mhs.udb.ac.id

⁴Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta

⁴240103133@mhs.udb.ac.id

⁵Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta

⁵rudi_susanto@udb.ac.id

Abstrak— Provinsi Sumatera Barat adalah salah satu potensi radiasi surya tinggi sehingga sangat terbantu sekali apabila mengembangkan PLTS berbasis *solar tracking*. Studi di daerah tropis seperti Padang menunjukkan bahwa penggunaan *single-axis tracker* mampu meningkatkan output energi sebesar 35% dibandingkan dengan panel tetap, bahkan metode *dual-axis* model dapat melipatgandakan konversi energi secara signifikan pada *prototype* dan simulasi skala besar. Salah satu studi dari referensi mempraktikkan jika sistem tracker otomatis berbasis sensor cahaya (BH1750) mampu meningkatkan produksi daya hingga 51%. Penelitian-penelitian tersebut mendukung potensi penerapan PLTS solar tracking di Sumatera Barat, terutama untuk *off-grid* atau daerah terpencil. Implementasi PLTS Berbasis *Solar Tracking* ini bertujuan untuk memberikan penerangan dengan energi terbarukan atau ramah lingkungan yakni dengan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) dan kemudian diimplementasikan pada miniatur rumah gadang yang berada di Sumatera Barat, selain itu didampingi juga dengan adanya *Solar Tracking* yang dapat meningkatkan efisiensi kerja PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) dikarenakan dengan adanya sistem *solar tracking* dapat mengikuti arah sinar matahari yang menjadi energi utama PLTS. Tujuan dari penelitian ini adalah agar dapat mengimplementasikan energi terbarukan dengan efisiensi yang maksimal ke daerah-daerah yang belum terjangkau oleh listrik, sebagaimana dalam penelitian ini mengambil contoh pada rumah gadang di Sumatera Barat. Dalam penelitian ini digunakan metode pengembangan metode *waterfall*. Alat yang dikembangkan kali ini menggunakan Miniatur Rumah Adat Gadang sebagai output penerangan yang juga sebagai gambaran implementasi, modul ESP32 sebagai modul utama yang mengatur semua sistem yang ada pada alat, sensor LDR

Kata kunci— Solar tracking, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), energi terbarukan, rumah gadang, ESP32, LDR, off-grid.

Abstract— West Sumatra Province has high solar radiation potential, so it would be very beneficial to develop solar tracking-based solar power plants. Studies in tropical regions like Padang have shown that using single-axis trackers can increase energy output by 35% compared to fixed panels, and dual-axis models can significantly double energy conversion in prototypes and large-scale simulations. One study from the references demonstrates that an automatic tracking system based on light sensors (BH1750) can increase power production by up to 51%. These studies support the potential application of solar tracking PLTS in West Sumatra, particularly for off-grid or remote areas. The implementation of solar tracking-based PLTS aims to provide lighting using renewable or environmentally friendly energy, namely PLTS (Solar Power Plant), and is then implemented in miniature traditional houses in West Sumatra. Additionally, it is accompanied by a solar tracking system that can enhance the efficiency of the solar power plant (SPP) because the solar tracking system can follow the direction of sunlight, which is the primary energy source for the SPP. The objective of this research is to implement renewable energy with maximum efficiency in areas not yet reached by electricity, as demonstrated in this study using the traditional Minangkabau house in West Sumatra as an example. In this study, the waterfall method was used. The device developed in this study uses a miniature traditional Gadang house as the lighting output, which also serves as an illustration of the implementation, an ESP32 module as the main module that controls all systems in the device, and an LDR sensor.

Keywords— Solar tracking, Solar Power Plant (SPP), renewable energy, traditional Gadang house, ESP32, LDR, off-grid.

I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat besar karena terletak di garis khatulistiwa

dengan intensitas penyinaran matahari rata-rata 4,8–5,4 kWh/m² per hari. Hal ini menjadikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai salah satu solusi utama dalam pengembangan

energi terbarukan di Indonesia. Boedoyo menjelaskan bahwa PLTS dapat menjadi energi alternatif masa depan yang bersih, berkelanjutan, dan sesuai dengan arah kebijakan energi nasional [1]. Sistem PLTS yang ramah lingkungan juga mampu mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dan emisi gas rumah kaca.

Dalam implementasinya, sistem PLTS terbagi menjadi dua, yaitu sistem on-grid dan off-grid. Sistem off-grid banyak diterapkan di daerah terpencil atau wilayah yang belum terjangkau jaringan listrik PLN. Syahwil dan Kadir berhasil merancang modul PLTS sistem off-grid sebagai media pembelajaran praktikum di laboratorium, yang juga relevan untuk aplikasi di lingkungan masyarakat luas [2]. Di sisi lain, Referensi menunjukkan keberhasilan penerapan PLTS di kawasan wisata Kampung Sawah sebagai strategi penghematan biaya listrik dan penguatan ekowisata [3].

Selain aspek teknis dan ekonomi, penerapan PLTS juga dapat diselaraskan dengan nilai budaya lokal. Silaban et al. mengintegrasikan sistem PLTS pada bangunan kantor berarsitektur rumah adat Batak Toba, yang membuktikan bahwa teknologi ramah lingkungan dapat bersinergi dengan pelestarian budaya [4]. Hal serupa dapat diadaptasi pada rumah gadang, sebagai simbol budaya masyarakat Minangkabau, yang belum banyak mendapat perhatian dalam integrasi energi terbarukan. Potensi ini sangat strategis untuk mendukung konservasi budaya dan elektrifikasi pedesaan secara berkelanjutan.

Pemanfaatan PLTS semakin efisien dengan dukungan teknologi Internet of Things (IoT) dan sistem monitoring real-time. Lorobezy mengembangkan sistem monitoring PLTS off-grid berbasis IoT yang mampu memantau kinerja sistem secara langsung dan responsif [5]. Sistem PLTS off-grid sangat cocok untuk rumah tangga skala kecil di wilayah pedesaan karena mudah dirancang, hemat biaya, dan mandiri [6]. Kombinasi teknologi monitoring dan desain modular ini membuka peluang besar untuk pengembangan PLTS di kawasan adat seperti Sumatera Barat.

Untuk meningkatkan efisiensi serapan energi matahari, berbagai penelitian telah menerapkan sistem solar tracking. Perancang solar tracker berbasis ESP32 dengan dua sumbu (dual axis) dan sensor LDR yang terbukti mampu mengoptimalkan penyerapan cahaya matahari sepanjang hari [7]. Pengembangan sistem monitoring arus listrik berbasis IoT pada panel surya, yang dapat menampilkan data real-time dan mempermudah proses pemeliharaan sistem [8]. Sistem seperti ini sangat sesuai untuk implementasi skala kecil seperti miniatur rumah gadang.

Selain itu dalam penelitian ini menekankan pentingnya integrasi IoT dalam pengembangan sistem PLTS 600 Wp yang mampu dikontrol secara otomatis dan efisien [9]. Dalam konteks sosial, Ramdan dan Damayanti menyoroti bahwa sistem monitoring PLTS juga memberikan edukasi kepada masyarakat dalam memahami pentingnya transisi ke energi terbarukan [10]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem PLTS berbasis solar tracking dual-axis pada miniatur rumah gadang Sumatera Barat, serta membandingkan efisiensinya dengan sistem panel tetap, dalam rangka mendukung elektrifikasi daerah terpencil berbasis kearifan lokal.

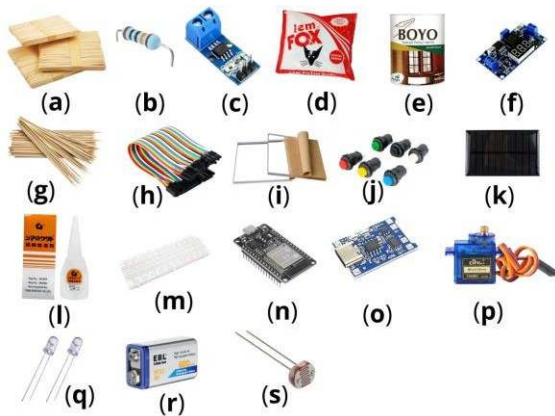
II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan eksperimen rekayasa sistem untuk membuat miniatur PLTS pada rumah gadang berbasis ESP32. Sistem memakai sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) mendeteksi intensitas cahaya di sekitarnya, dan mengubahnya menjadi perubahan resistansi listrik. Metode penelitian yang menggunakan sel surya (*solar cell*) yang merubah energi cahaya matahari langsung menjadi listrik (arus searah/DC) *off grid*. Di sebut *off grid* karena beroperasi secara mandiri tanpa terhubung ke jaringan listrik PLN.. Miniatur Rumah Gadang dilengkapi dengan panel surya, sensor LDR, dan sistem kontrol Arduino/ESP32. Solar tracking dilakukan dengan motor servo mengikuti data intensitas cahaya dari dua LDR. Data efisiensi dibandingkan antara sistem tetap dan tracking.

Sistem ini dirancang untuk menyediakan listrik secara mandiri. Metode ini sangat cocok digunakan

di rumah gadang karena biasa digunakan di daerah terpencil.

A. Analisis Kebutuhan



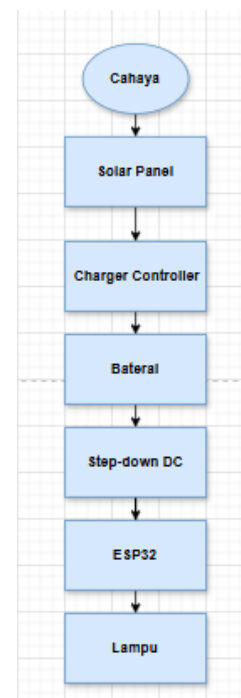
Gambar 1. Alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian ini

Berikut adalah keterangan kegunaan alat dari gambar 1:

- Stik eskrim digunakan dalam bentuk rangka dasar dan lantai miniatur rumah gadang.
- Resistor digunakan untuk mengatur dan mengendalikan arah listrik
- Sensor ACS712 digunakan untuk mengukur arus listrik yang mengalir dari panel surya ke baterai
- Lem Fox putih digunakan untuk merekatkan dan menguatkan stik eskrim dan tusuk gigi
- Plitur Kayu digunakan untuk lapisan pelindung pada stik eskrim dan tusuk sate
- Modul Step Down digunakan untuk menurunkan tegangan tinggi yang masuk ESP32
- Tusuk sate digunakan untuk membuat dinding dan atap dari miniature rumah gadang
- Kabel Jumper untuk menghubungkan semua komponen di breadboard dan ESP32
- Akrilik Bening digunakan untuk wadah dan menjadi bagian dari solar tracking system
- Push Button digunakan untuk saklar pada lampu
- Mini Solar Panel digunakan untuk menyerap energi cahaya matahari menjadi listrik
- Lem G digunakan untuk menempel dan menyatukan bagian bagian dari minniature rumah gadang

- Breadboard tempat untuk menyusun kabel dan komponen tanpa solder.
- ESP32 digunakan untuk mengontrol dan mengatur komponen-komponen
- Charging module digunakan untuk mengatur pengisian daya dari solar panel ke baterai
- Motor Servo digunakan untuk menggerakkan solar panel agar dapat berotasi mengikuti cahaya matahari
- Lampu digunakan sebagai output dari mini PLTS
- Baterai 9V digunakan untuk menyimpan daya
- Sensor LDR digunakan mendeteksi intensitas cahaya di sekitarnya, dan mengubahnya menjadi perubahan resistensi Listrik

B. Perancangan Diagram Blok

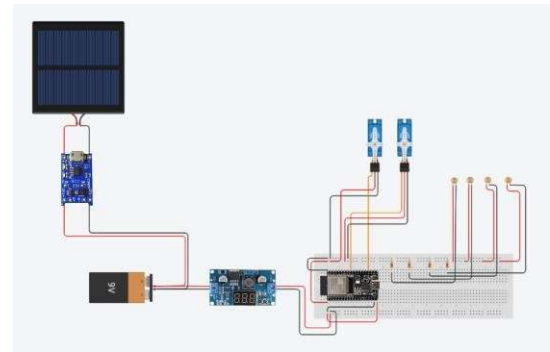


Gambar 2. Diagram Blok Penyimpanan daya dari cahaya

Berawal dari cahaya matahari diserap oleh sel fotovoltaik pada panel surya lalu masuk ke charger controller untuk mengatur aliran listrik dari panel surya ke baterai, mencegah juga over charging dan over-discharging yang dapat merusak baterai. Terus masuk ke baterai untuk disimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya, sehingga dapat digunakan saat matahari tidak bersinar atau saat

beban listrik melebihi kemampuan panel surya. Tanpa baterai, panel surya hanya dapat menghasilkan listrik saat ada sinar matahari, dan listrik tidak dapat digunakan pada malam hari atau saat cuaca mendung. Kemudian step-down DC menurunkan tegangan tinggi yang dihasilkan oleh panel surya menjadi tegangan yang sesuai dengan ESP32. Dari ESP32 menjadi mikrokontroler yang mengumpulkan data, memproses, dan mengontrol berbagai aspek sistem dan menyalakan output yaitu lampu.

C. Perancangan Desain Pengkabelan

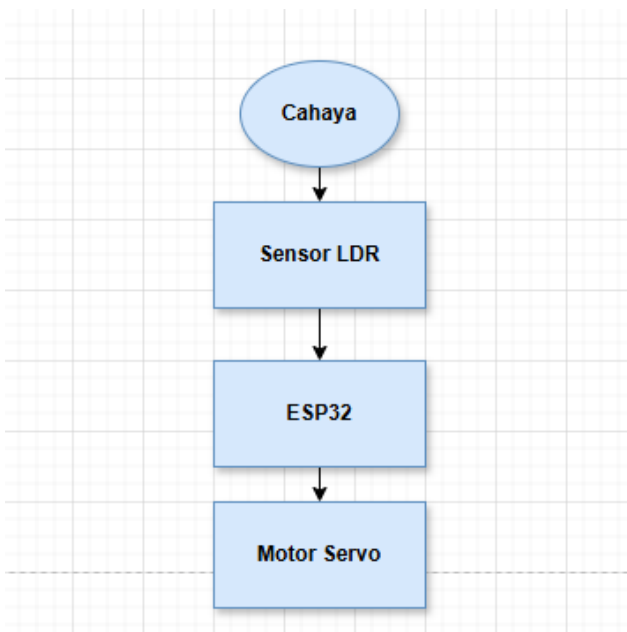


Gambar 4. Desain Pengkabelan

Berikut adalah tabel pengkabelan dari komponen pada gambar 4 :

Tabel 1. Tabel Pengkabelan Komponen

No	Komponen	Pengkabelan Komponen	
		ESP32	Keterangan
1	Breadboard	Menyalurkan Daya	Sebagai media distribusi 5V, GND, Data dan komponen Lainnya
2	Lampu 5mm	Positif → VIN / 5V Negatif → Ground	Sebagai penerangan pada miniatur rumah gadang
3	Baterai 9V	Positif → VIN / 5V Negatif → Ground	Sebagai penerangan pada miniatur rumah gadang
4	Resistor 10k	Kaki 1 → Pin 3v3 Kaki 2 → Ground	Digunakan untuk mengatur dan mengendalikan arah listrik
5	Sensor LDR	Kaki 1 → Pin 3v3 Kaki 2 → Ground	Digunakan mendeteksi intensitas cahaya di sekitarnya, dan mengubahnya menjadi perubahan resistensi listrik
6	Sensor LDR (Data)	LDR 1 → Pin 13 LDR 2 → Pin 12 LDR 3 → Pin 14 LDR 4 → Pin 27	Digunakan mendeteksi intensitas cahaya di sekitarnya, dan mengubahnya menjadi perubahan resistensi listrik
7	Motor Servo SG90 (Horizontal)	Signal / Data → Pin 15 VCC → VIN / 5V GND → GND	Digunakan untuk menggerakkan solar panel agar dapat berotasi mengikuti cahaya matahari
8	Motor Servo SG90 (Vertikal)	Signal / Data → Pin 18 VCC → VIN	Digunakan untuk menggerakkan solar panel agar dapat berotasi mengikuti



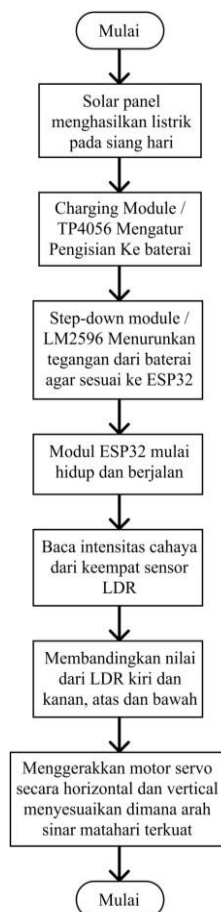
Gambar 3. Perancangan Diagram Blok Solar Tracker

Berawal dari sensor LDR mendeteksi intensitas cahaya matahari dan mengarahkan panel surya agar selalu tegak lurus terhadap sumber cahaya dan ESP32 berfungsi sebagai pengontrol dan tempat mengolah data dari sensor dan menggerakkan motor servo[5][7].

Setelah semua komponen terpasang sesuai tabel 1, sistem sensor cahaya ini dapat berfungsi secara otomatis dan interaktif. Pengguna cukup mendekatkan cahaya ke arah sensor LDR (sebelah kanan dan kiri) dalam jarak $\leq 8\text{cm}$. Sensor LDR akan mendeteksi keberadaan cahaya dan mengirimkan data ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses [7]. ESP32 kemudian memberi instruksi ke motor servo agar menggerakkan panel surya untuk mengikuti arah sumber cahaya.

Panel surya akan mengikuti arah datangnya cahaya. Saat panel menghadap matahari secara optimal, listrik dihasilkan dan disimpan ke baterai. ESP32 dapat memantau tegangan baterai dan menghentikan sistem jika voltase terlalu rendah atau penuh [7][8][9].

D. Diagram Alir



Gambar 4. Diagram Alir

Gambar 4 menjelaskan urutan proses sistem secara menyeluruh. Sistem dimulai ketika panel surya menghasilkan energi yang disimpan di dalam baterai. Selanjutnya, ESP32 aktif dan langsung membaca nilai intensitas cahaya dari keempat LDR. Berdasarkan hasil perbandingan antara nilai kiri-kanan dan atas-bawah, sistem menentukan arah mana yang memiliki pencahayaan tertinggi, kemudian memberikan sinyal ke motor servo untuk menyesuaikan posisi panel surya. Siklus ini terus berjalan selama sistem aktif [7][8].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan sebuah sistem pembangkit listrik tenaga surya berbasis solar tracking dual axis yang diimplementasikan pada miniatur rumah gadang khas Sumatera Barat. Sistem ini menggunakan panel surya mini, sensor LDR, dua buah motor servo, dan dikendalikan oleh modul mikrokontroler ESP32. Sistem dikembangkan untuk dapat bekerja secara off-grid, yang berarti tidak bergantung pada jaringan listrik PLN, sangat cocok untuk diterapkan di daerah pedalaman atau tempat wisata budaya yang belum teraliri listrik..

A. Implementasi Sistem

Sistem solar tracking dirancang dengan empat buah sensor LDR yang ditempatkan pada sisi kiri, kanan, atas, dan bawah dari panel surya. ESP32 memproses data intensitas cahaya dari keempat LDR tersebut dan menggerakkan motor servo pada dua sumbu (horizontal dan vertikal) agar panel surya selalu tegak lurus dengan arah datangnya cahaya matahari.

Proses alur listrik dimulai dari penyerapan energi oleh solar panel, yang kemudian dialirkan melalui charging module menuju baterai 9V sebagai penyimpanan. Selanjutnya, energi yang tersimpan diubah melalui step-down converter untuk menyesuaikan tegangan masuk ke ESP32 dan beban (lampu). Gambar 2 dan 3 pada bagian sebelumnya menunjukkan bagaimana skema blok ini bekerja secara terintegrasi..



Gambar 5. Tampilan hasil Perakitan komponen.

Seperti yang tertera pada gambar 5, Mini Solar Panel terletak pada atas rotor penggerak. Sensor LDR berada di bagian tengah dengan 4 sensor LDR yang masing masing dibatasi oleh sekat-sekat berwarna hitam untuk digunakan dalam pemaksimalan penangkapan sumber energi matahari. ESP32 diletakkan di bagian atas menempel pada breadboard. Breadboard beserta rangkaian kabelnya berada di sekitar dari rotor penggerak PLTS, dekat dengan Rumah Gadang.



Gambar 6. Tampilan hasil jadi.

Setelah proses perakitan seluruh komponen hardware seperti sensor LDR, Motor Servo, Mini Solar Panel, dan Lampu selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah menyusun program dalam ESP32 dan mengunggahnya ke mikrokontroler ESP32. Program ini berfungsi untuk membaca data

jarak dari sensor LDR, mengatur gerakan Motor Servo sebagai mekanisme gerakan Solar Tracking, Adapun fungsi dan kegunaan dari kode program yang digunakan dalam penelitian ini :

```
#include <ESP32Servo.h>
//Mengimpor library bernama ESP32Servo.h yang akan digunakan dan berfungsi sebagai komunikasi antara modul ESP32 (sebagai controller) dan Motor servo SG90 (sebagai penggerak solar tracking).
```

```
Servo horizontal; // Mengatur sudut motor servo yang bergerak secara horizontal
int servohori = 180;
int servohoriLimitHigh = 175;
int servohoriLimitLow = 5;
```

```
Servo vertical; // Mengatur sudut motor servo yang bergerak secara vertikal
int servovert = 45;
int servovertLimitHigh = 100;
int servovertLimitLow = 1;
```

```
// Inisialisasi koneksi pin sensor LDR - menggunakan pin ADC ESP32
int ldr1l = 13; // GPIO13 - Sensor LDR bagian bawah kiri
int ldr1r = 12; // GPIO12 (ADC1_CH3) - Sensor LDR bagian bawah kanan
int ldr1d = 14; // GPIO14 (ADC1_CH6) - Sensor LDR bagian atas kiri
int ldr1r2 = 27; // GPIO35 (ADC1_CH7) Sensor - LDR bagian atas kanan
```

```
void setup() {
  Serial.begin(115200); // Untuk debugging
```

```
// Inisialisasi pin servo
horizontal.attach(15); // GPIO15 untuk motor servo horizontal
vertical.attach(18); // GPIO18 untuk motor servo vertikal
```

```
horizontal.write(180); //Sudut posisi awal motor servo horizontal
vertical.write(45); //Sudut posisi awal motor servo vertikal
delay(2500); //Delay motor servo
```

```

}

//Looping untuk mengulang sinyal dari sensor LDR
void loop() {
  int lt = analogRead(ldrLt); // Atas kiri
  int rt = analogRead(ldrRt); // Atas kanan
  int ld = analogRead(ldrLd); // Bawah kiri
  int rd = analogRead(ldrRd); // Bawah kanan

  // Output untuk debugging
  Serial.printf("LDR Values: LT=%d, RT=%d,
LD=%d, RD=%d\n", lt, rt, ld, rd);

  int dtime = 10;
  int tol = 90; // Nilai toleransi untuk mengatur

  int avt = (lt + rt) / 2; // Rata-rata nilai untuk sensor
atas
  int avd = (ld + rd) / 2; // Rata-rata nilai untuk
sensor bawah
  int avl = (lt + ld) / 2; // Rata-rata nilai untuk sensor
kiri
  int avr = (rt + rd) / 2; // Rata-rata nilai untuk
sensor kanan

  int dvert = avt - avd; // Jarak antara atas dan bawah
  int dhoriz = avl - avr; // Jarak antara kiri dan kanan

//Menggerakkan motor servo berdasarkan
perbedaan nilai input dari sensor LDR yang telah
didapatkan
  if (abs(dvert) > tol) {
    if (avt > avd) {
      servovert = ++servovert;
      if (servovert > servovertLimitHigh) servovert =
servovertLimitHigh;
    } else {
      servovert = --servovert;
      if (servovert < servovertLimitLow) servovert =
servovertLimitLow;
    }
    vertical.write(servovert);
    Serial.printf("Vertical servo moved to: %d\n",
servovert);
  }

  if (abs(dhoriz) > tol) {
    if (avl > avr) {

```

```

      servohori = --servohori;
      if (servohori < servohoriLimitLow) servohori =
servohoriLimitLow;
    } else {
      servohori = ++servohori;
      if (servohori > servohoriLimitHigh) servohori =
servohoriLimitHigh;
    }
    horizontal.write(servohori);
    Serial.printf("Horizontal servo moved to: %d\n",
servohori);
  }

  delay(dtime);
}

```

B. Pengujian Sistem Solar Tracking vs Panel Tetap

Untuk membandingkan efektivitas penggunaan sistem solar tracking dengan sistem panel tetap, dilakukan pengujian selama 5 hari berturut-turut pada jam 09.29–17.30 WIB, di tempat terbuka dengan intensitas cahaya matahari yang relatif stabil (cuaca cerah – sebagian berawan)

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa panel dengan sistem tracking mampu menghasilkan tegangan dan arus yang lebih tinggi, serta memperpanjang durasi penerangan lampu [1][3][7][8][9].

Tabel 2. Tabel Perbandingan

Percobaan	Perbandingan Solar Panel			Peningkatan
	Solar Tracking(V)	Panel Tetap(V)	Jam(W IB)	
1	5,63V	5,63V	9:29	0,00%
2	5,39V	5,35V	10:35	+0,75%
3	5,71V	5,68V	11:45	+0,53%
4	5,65V	5,68V	12:26	-0,53%
5	5,75V	5,57V	14:15	+3,23%
6	5,52V	5,43V	15:35	+1,66%
7	5,4V	4,79V	15:59	+12,74%
8	5,47V	5,49V	16:45	-0,36%
9	5,58V	5,38V	17:30	+3,72%
Rata-rata	5,57V	5,44V		+2,21%

Efisiensi system solar tracking menghasilkan arus +2,21% lebih tinggi rata-rata. Sistem juga mampu beroperasi mandiri tanpa jaringan PLN, cocok untuk daerah terpencil. Kinerja sistem tetap stabil meskipun terdapat fluktuasi cuaca.

C. Kelebihan dan Kekurangan Sistem

1. Sistem Panel Tetap

Kelebihan:

- Lebih sederhana dan murah untuk dipasang.

- b. Minim perawatan karena tidak ada komponen bergerak.
- c. Cocok untuk lokasi yang tidak memiliki ruang untuk motorisasi.

Kekurangan:

- a. Tidak bisa mengikuti arah datangnya cahaya
- b. Efisiensi sangat bergantung pada posisi awal pemasangan.
- c. Output cenderung lebih rendah terutama saat pagi dan sore hari.

2. Sistem Solar Tracking

Kelebihan:

- a. Mampu mengikuti pergerakan matahari, sehingga memaksimalkan penyinaran sepanjang hari.
- b. Output daya lebih stabil dan tinggi.
- c. Cocok untuk daerah yang mengandalkan sinar matahari sebagai sumber utama energi.

Kekurangan:

- a. Komponen lebih kompleks, membutuhkan kalibrasi dan pemrograman
- b. Biaya awal lebih tinggi (karena motor, sensor, dan mikrokontroler).
- c. Lebih banyak perawatan karena adanya bagian bergerak (motor servo).

D. Analisis Perbandingan

Dari pengujian di lapangan dan data di atas, dapat disimpulkan bahwa sistem solar tracking jauh lebih unggul dalam hal efisiensi energi. Untuk keperluan penerangan rumah adat miniatur seperti rumah gadang, sistem ini terbukti mampu bekerja lebih lama dan lebih efisien, bahkan dalam skala kecil sekalipun.

Namun, dalam implementasi nyata, pertimbangan biaya dan perawatan tetap harus diperhatikan, khususnya untuk daerah yang memiliki keterbatasan teknis. Sistem panel tetap masih dapat dijadikan solusi cadangan atau pendukung.

Implementasi PLTS berbasis solar tracking pada miniatur rumah gadang Sumatera Barat berhasil meningkatkan efisiensi daya listrik yang dihasilkan secara signifikan. Sistem ini terbukti lebih efektif dibandingkan panel tetap dalam mengonversi energi matahari menjadi energi listrik. Hal ini menjadikan teknologi solar tracking sebagai salah satu solusi ideal dalam pengembangan PLTS off-grid berbasis

energi terbarukan, khususnya untuk daerah adat dan terpencil [5][6][10].

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis solar tracking dual-axis pada miniatur rumah gadang Sumatera Barat sebagai representasi penerapan energi terbarukan di daerah dengan potensi radiasi matahari tinggi.

Dari hasil pengujian, sistem solar tracking mampu meningkatkan efisiensi penyerapan cahaya matahari secara signifikan dibandingkan sistem panel tetap. Perbedaan terlihat dari meningkatnya tegangan, arus, dan durasi penerangan lampu LED.

Keunggulan utama dari sistem tracking adalah kemampuannya untuk mengikuti arah matahari sepanjang hari, sehingga dapat mengoptimalkan energi yang diterima oleh panel surya. Walau demikian, sistem ini juga memiliki kompleksitas dan biaya yang lebih tinggi dibandingkan sistem tetap. Dengan kata lain, terdapat trade-off antara efisiensi energi dengan kemudahan dan biaya implementasi.

Secara umum, tujuan penelitian telah tercapai, yaitu menciptakan sistem pembangkit listrik tenaga surya mini yang ramah lingkungan, efisien, dan sesuai dengan karakteristik lokal rumah gadang. Implementasi ini menjadi solusi potensial untuk mendukung kebutuhan listrik di wilayah terpencil atau daerah adat yang belum terjangkau jaringan listrik PLN.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi langkah awal pengembangan PLTS berbasis teknologi pintar untuk menunjang keberlanjutan energi di masa depan, khususnya di wilayah dengan nilai budaya tinggi seperti Sumatera Barat.

REFERENSI

- [1] M. S. Boedoyo, "Potensi dan peranan PLTS sebagai energi alternatif masa depan di Indonesia," *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, vol. 14, no. 2, pp. 146–152, 2013. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/277916035_POTENSI_DAN_PERANAN_PLTS_SEBAGAI_ENERGI_ALTERNATIF_MASA_DEPAN_DI_INDONESIA
- [2] M. Syahwil and N. Kadir, "Rancang Bangun Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem Off-grid Sebagai Alat Penunjang Praktikum Di Laboratorium," *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, vol. 3, no. 1, pp. 26–35, 2021. [Online]. Available: <http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jlpl/article/view/10169>.

- [3] Rimbawati, R. Rimbawati, I. A. Nasution, and N. Amrina, "Penerapan Pembangkit Tenaga Surya Pada Objek Wisata Kampung Sawah Guna Mengurangi Biaya Pembelian Energi Listrik," *Martabe: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 4, no. 1, pp. 145–151, 2021. [Online]. Available: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/88451727/pdf-libre.pdf>.
- [4] I. O. Silaban, I. N. S. Kumara, and I. N. Setiawan, "Perancangan PLTS Atap Pada Gedung Kantor Bupati Tapanuli Utara Dengan Arsitektur Rumah Adat Batak Toba," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 8, no. 2, 2021. [Online]. Available: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/101796534/41025-libre.pdf>.
- [5] T. D. Lorobezy, "Rancang Bangun Sistem Monitoring PLTS Off-Grid Berbasis IoT," *MSI Transaction on Education*, vol. 4, no. 2, pp. 71–84, 2023. [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/jurtek/article/view/7624>.
- [6] J. Napitupulu, R. Siregar, and S. Naibaho, "Study Perencanaan PLTS Sistem Off Grid Skala Kecil Rumah Tangga," *Jurnal Darma Agung*, vol. 31, no. 2, 2023. [Online]. Available: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/106291279/2726-libre.pdf>.
- [7] H. Setiana, A. B. Kusumaningtyas, and R. Maulana, "Rancang Bangun PLTS Solar Tracker Dual Axis Berbasis IoT Menggunakan ESP32," *Prosiding SENIATI*, vol. 7, no. 2, pp. 177–182, 2023. [Online]. Available: <https://mail.ejournal.itn.ac.id/index.php/seniati/article/view/7944>.
- [8] L. O. Sari, M. F. E. Saputra, and E. Safrianti, "Sistem Monitoring Arus Listrik Berbasis Internet of Things (IoT) pada Solar Panel di Laboratorium Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) UIN Suska Riau," *Jurnal MALCOM*, 2024. [Online]. Available: <https://www.journal.irpi.or.id/index.php/malcom/article/view/1033>.
- [9] T. Abdulghani, H. M. Rasyid, M. Arifin, and H. H. Ridho, "Analysis and Implementation of The Internet Of Things (IoT) in The Development of Monitoring Solar Power Plants (PLTS) 600 Wp," *Jurnal Teknik Informatika (JUTIF)*, vol. 5, no. 4, pp. 673–684, 2024. [Online]. Available: <https://jutif.if.unsoed.ac.id/index.php/jurnal/article/view/2093>.
- [10] M. Ramdan and E. Damayanti, "Sistem Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis Internet of Things," *Innovative: Journal Of Social Science Research*, vol. 4, no. 4, pp. 15142–15155, 2024. [Online]. Available: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative/index>.