

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu

No.	Peneliti	Judul	Topik
1.	Wendryanto, G. Widayana, W. Sutaya	Pengembangan Penggerak Solar Panel Dua Sumbu Untuk Meningkatkan Daya Pada Solar Panel Tipe Polikristal	Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan daya pada panel surya jenis polikristal dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Nano Atmega328 juga menggunakan 6 sensor LDR sebagai pendeteksi cahaya sinar matahari di mana 2 sensor diletak secara vertikal dan 4 sensor diletak secara horizontal dan motor DC sebagai penggerak [7].
2.	Hif Zuddin	Perancangan dan Implementasi Sistem Instalasi Solar Tracking Dual Axis	Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sistem instalasi solar tracking yang mampu menggerakkan panel

		untuk Optimasi Panel Surya	surya secara otomatis agar selalu mengikuti gerak dari sumber cahaya. Penelitian ini menggunakan sensor LDR sebagai pendeteksi cahaya, sensor <i>Gyroscope</i> dan sensor <i>Accelerometer</i> yang berfungsi untuk mengukur kecepatan sudut [8].
3	Faldo Y M, Jemmy C K, Denny D M, I.P Tamba, HM Samuel, Zuldesmi	Rancang Bangun <i>Solar Tracker dual axis</i> Berbasis Arduino Uno untuk Meningkatkan efektivitas Daya Keluaran pada Panel Surya Monocrystalline 50Watt Peak	Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pada panel surya <i>monocrystalline</i> 50WP. Penelitian ini menggunakan 4 sensor LDR yang diletakkan disudut tiang panel surya [9].

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Energi Surya

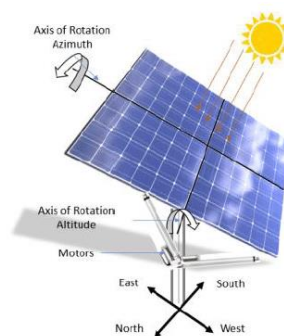
Energi surya merupakan salah satu energi baru terbarukan yang berasal dari pancaran sinar matahari. Energi ini dapat dimanfaatkan dalam dua bentuk, yaitu energi panas (thermal) dan energi listrik yang melalui konversi efek fotovoltaiik. Konversi efek fotovoltaiik adalah kondisi ketika cahaya matahari mengenai

permukaan sel surya yang berbahan semikonduktor, lalu foton akan melepaskan elektron sehingga terciptanya arus listrik [10].

Energi surya memiliki keunggulan dari energi lain, yaitu tidak menghasilkan polusi, jumlahnya yang melimpah, dan dapat dimanfaatkan hampir di seluruh wilayah. Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat besar karena letaknya yang berada di garis khatulistiwa, dengan rata-rata intensitas radiasi matahari harian mencapai sekitar $4,8 \text{ kWh/m}^2$ [5]. Potensi tersebut menjadikan energi surya sebagai salah satu sumber energi alternatif yang dapat berperan penting dalam mendukung ketahanan energi nasional.

2.2.2 Sistem Solar Tracker

Sistem solar tracker merupakan sebuah sistem yang dirancang untuk menggerakkan panel surya agar selalu mengikuti dan menghadap ke arah sinar matahari. Sistem solar tracker terbagi menjadi dua jenis, yaitu *single axis tracking system* dan *dual tracking axis system*. Perbedaan kedua sistem tersebut terletak pada sumbu geraknya, di mana pada *single axis tracking* hanya memiliki satu sumbu saja sehingga pergerakannya hanya satu arah yang bolak-balik. Sedangkan pada sistem *dual axis tracking* memiliki dua sumbu yang dapat menghasilkan pergerakan berputar secara pan (horizontal) dan tilt (vertikal) [11].



Gambar 2. 1 Sistem Solar Tracker

2.2.3 Panel Surya

Sel surya yang atau panel surya adalah perangkat yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan efek photovoltaic. Efek ini adalah suatu fenomena di mana munculnya tegangan listrik akibat dari interaksi antara dua elektroda yang terhubung dengan sistem padatan atau cairan ketika menerima energi cahaya. Fenomena tersebut pertama kali ditemukan oleh Henri Becquerel pada tahun 1839 [12].

Tegangan listrik yang dihasilkan panel surya sekitar 0,6V tanpa beban atau 0,45V dengan beban. Panel surya terbagi menjadi tiga jenis, sebagai berikut [13]:

1. Monokristal (*Mono-Crystalline*)

Panel jenis ini merupakan panel yang paling efisien yang menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Panel ini dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrem juga dengan kondisi alam yang ganas. Efisiensi panel monokristal mencapai 15% - 20%. Kelemahan panel jenis ini adalah tidak dapat berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (mendung), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.



Gambar 2. 2 Panel Surya Jenis Monokristal

2. Polikristal (*Poly-Crystalline*)

Polikristal merupakan jenis panel surya yang memiliki susunan kristal acak. Jenis panel ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar

dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Efisiensi pada panel jenis ini lebih rendah dibandingkan dengan jenis monokristal tingkat efisiensi sekitar 13% - 16%, sehingga memiliki harga yang lebih rendah.



Gambar 2. 3 Panel Surya Jenis Polikristal

3. *Thin Film Photovoltaic*

Jenis panel surya ini memiliki struktur lapisan tipis mikrokristal-silikon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada monokristal dan polikristal [13]. Jenis panel ini terbuat dari *thin film* semikonduktor yang diaplikasikan pada kaca, plastik, atau logam. Hal ini membuat panel surya *thin film* lebih fleksibel dan ringan. Kelebihan dari panel ini harganya lebih murah dibandingkan jenis panel monokristal dan polikristal, bahannya ringan dan fleksibel, serta tahan terhadap suhu yang relatif tinggi. Akan tetapi efisiensi pada panel ini lebih rendah dari jenis panel lainnya, juga instalasi sulit jika tidak dibingkai dan umur penggunaan yang lebih pendek [14].



Gambar 2. 4 Panel Surya Jenis *Thin Film*

Penelitian ini menggunakan panel jenis monokristal kapasitas 10 WP dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 2. 2 Spesifikasi Panel Surya 10Wp

Parameter	Karakteristik
Tipe	MS-10W MONO/B
Voltase	18V
Arus	0,58A

2.2.4 Iradiasi Matahari

Iradiasi matahari merupakan parameter fisis yang paling mendasar dalam menentukan kinerja sistem panel surya. Iradiasi didefinisikan sebagai daya radiasi matahari yang diterima oleh suatu permukaan per satuan luas (W/m^2) [15]. Secara prinsip, iradiasi secara langsung merepresentasikan intensitas cahaya yang jatuh pada permukaan fotovoltaik (PV).

Hubungan antara daya keluaran (P) dari panel surya dan nilai iradiasi bersifat hampir linear. Semakin tinggi nilai iradiasi maka semakin besar arus listrik (I) yang dapat dihasilkan, yang berimplikasi pada peningkatan daya keluaran ($P = V \times I$) [16]. Fluktuasi Iradiasi, terutama akibat cuaca mendung atau posisi matahari rendah, merupakan penyebab utama sifat intermiten dari daya yang dihasilkan [17].

Dalam perancangan sistem solar tracker, iradiasi memegang peran sentral. Tujuan utama dari mekanisme tracking adalah memastikan permukaan panel selalu tegang lurus menghadap matahari. Upaya ini bertujuan untuk memaksimalkan

irradiasi sesaat yang diterima, yang secara kumulatif akan meningkatkan total energi harian [18].

2.2.5 Mounting Pole Dual Axis

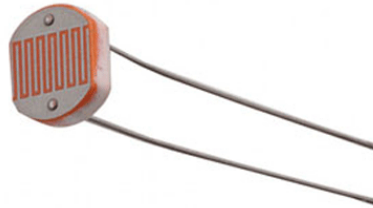
Mounting pole dual axis adalah struktur utama yang menopang sistem pelacak surya, termasuk panel surya dan motor servo. Mounting ini dibuat dari besi dengan tinggi tiang 60 cm dan panjang kaki penyangga 50 cm, bagian bawah mounting diberi papan berukuran 50 cm x 50 cm untuk meletakkan box komponen, aki, dan scc.



Gambar 2. 5 Mounting

2.2.6 Sensor Light Dependent Resistor (LDR)

Sensor LDR merupakan komponen elektronik deteksi cahaya yang resistansinya bergantung pada intensitas cahaya yang diterimanya. Ketika terkena cahaya terang, resistansi pada LDR menjadi sangat rendah. Sedangkan saat kondisi gelap, resistansinya meningkat drastis hingga mencapai jutaan ohm. Prinsip kerja LDR sering dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi yang memerlukan deteksi cahaya, seperti pada sistem solar tracker [8]. Besarnya nilai hambatan pada sensor cahaya LDR tergantung pada besar kecilnya cahaya yang diterima oleh sensor LDR. Jika cahaya gelap maka nilai tahanannya semakin besar, dan ketika cahaya terang nilainya menjadi semakin kecil.



Gambar 2. 6 Sensor LDR

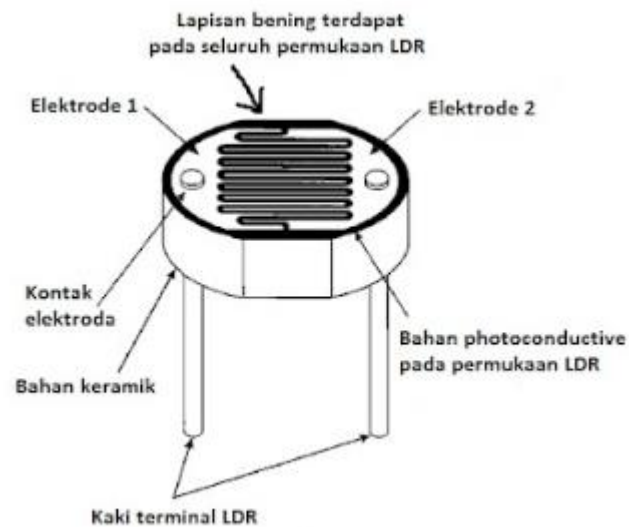
Cara kerja sensor ini adalah memanfaatkan energi foton yang ketika terkena permukaan sensor, maka energi foton akan mengakibatkan elektron yang berikatan lepas dan akan terjadi pergerakan elektron. Pergerakan tersebut akan menimbulkan adanya arus listrik. Ketika nilai dari arus listrik naik, maka nilai hambatan akan menurun dan ketika nilai arus semakin besar, maka nilai hambatan akan semakin berkurang [8]. Cara kerja sensor LDR adalah sebagai berikut:

1. LDR akan menghambat aliran arus listrik apabila tidak ada cahaya yang mengenai permukaan atas LDR.
2. Apabila ada sedikit intensitas cahaya mengenai permukaan LDR, maka nilai resistansi LDR akan besar.
3. Kemudian ketika banyak intensitas cahaya yang mengenai permukaan LDR, maka nilai resistansi LDR akan kecil.

Sensor LDR pada sistem solar tracker digunakan untuk mendeteksi arah datangnya cahaya matahari. Sensor LDR biasanya dirangkai dalam bentuk pembagi tegangan (*voltage divider*) bersama dengan resistor tetap, misalnya 10kOhm. Rangkaian pembagi tegangan ini akan menghasilkan *output* tegangan yang bervariasi sesuai perubahan intensitas cahaya, dan tegangan tersebut dibaca oleh pin analog mikrokontroller seperti Arduino.



Gambar 2. 7 Rangkaian Sensor LDR



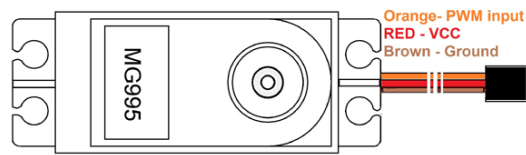
Gambar 2. 8 Bagian Sensor LDR

2.2.7 Motor Servo

Motor servo merupakan aktuator putar atau disebut dengan motor yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik loop yang tertutup atau disebut dengan servo. Motor servo dapat diukur dalam menentukan dan memastikan dari sudut poros *output* motor.

Motor servo terdiri dari motor DC, gear, rangkaian kontrol, dan potensiometer sebagai sensor posisi internal. Motor DC terhubung dengan sistem gear yang berfungsi untuk menurunkan kecepatan rotasi poros sekaligus meningkatkan torsi, sehingga memungkinkan pengendalian posisi yang lebih presisi dengan daya yang relatif kecil. Kemudian pada potensiometer akan mengalami perubahan resistansi saat motor servo berputar [19].

Dengan menerapkan sistem kontrol loop tertutup, motor servo mampu melakukan koreksi otomatis terhadap posisi poros secara real-time, sehingga akurasi dan kestabilan posisi dapat dijaga. Hal ini menjadikan motor servo sangat sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan presisi tinggi, seperti dalam sistem kendali posisi pada panel surya otomatis berbasis dual axis.



Gambar 2. 9 Pin Motor Servo



Gambar 2. 10 Motor Servo

Tabel 2. 3 Spesifikasi Motor Servo

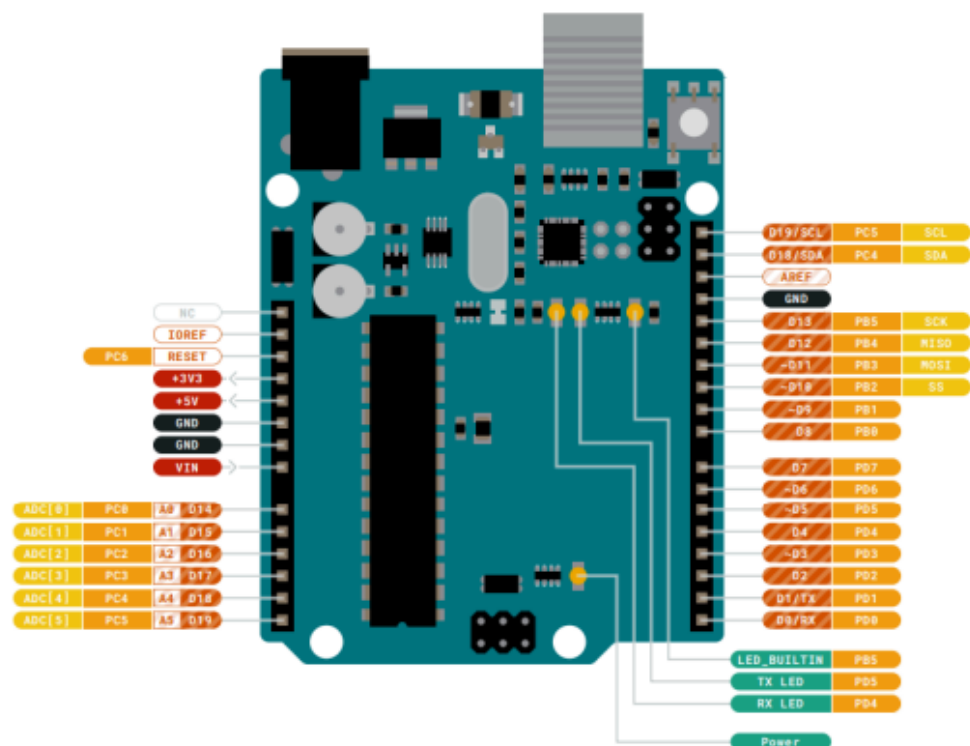
No.	Fitur	Spesifikasi
1.	Weight	55 g
2.	Dimension	40.7 x 19.7 x 42.9 mm
3.	Operating Speed	0.17sec/ 60 degrees (4.8V no load)
4.	Operating Speed	0.13sec/ 60 degrees (6V no load)
5.	Stall Torque	9 kg-cm (180.5 oz-in) at 4.8V
6.	Stall Torque	12kg-cm (208.3 oz-in) at 6V
7.	Operation Voltage	4.8 – 7.2V

2.2.8 Arduino Uno

Arduino adalah sebuah rangkaian elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat komponen utama, yaitu sebuah chip mikrokontroler jenis AVR. Mikrokontroler merupakan chip atau IC (integrated circuit) yang dapat diprogram menggunakan komputer. Tujuan mikrokontroler diberikan program adalah agar pada rangkaian elektronik dapat membaca *input* serta memproses *input* yang dapat menghasilkan *output* sesuai dengan yang diinginkan. Mikrokontroler digunakan

sebagai otak yang mengendalikan *input*, proses dan *output* sebuah rangkaian elektronik.

Arduino Uno merupakan rangkaian mikrokontroler berbasis Atmega328 yang memiliki 14 pin digital *input/output* (bisa digunakan sebagai *output* PWM), 6 *input* analog, clock speed 16 MHZ, koneksi USB, *power supply*, header ICSP, dan tombol reset. *Board* mikrokontroler Arduino Uno menggunakan sumber yang terhubung ke komputer dengan kabel USB atau adaptor dan baterai. Adapun bahasa yang dipakai dalam Arduino adalah Bahasa C yang bahasanya lebih mudah dipahami.



Gambar 2. 11 Pin Arduino UNO

Power supply pada Arduino UNO Adalah adaptor DC atau baterai yang dapat dihubungkan dengan port *input* USB. Arduino dapat bekerja dengan *supply* tegangan dari luar sebesar 6 – 20 volt. Jika tegangan *input* yang diterima Arduino kurang dari 7 volt maka dapat mengakibatkan tegangan *input* ke *Board* menjadi tidak stabil. Ketika menggunakan lebih dari 12V, tegangan di regulator bisa menjadi sangat panas dan menyebabkan kerusakan pada *board* Arduino. Jadi sangat

disarankan agar menggunakan *input* sesuai, yaitu sekitar 7 – 12V, agar *board* Arduino dapat bekerja dengan baik dan normal. Berikut pin yang berada di Arduino UNO:

1. Power USB

Power USB pada Arduino UNO sebagai catu daya ke *board* Arduino menggunakan kabel USB dari komputer. Selain itu juga USB sebagai memuat program dari komputer ke dalam *board* Arduino dan komunikasi serial antara papan Arduino dan komputer.

2. Power (*Barrel Jack*)

Power ini digunakan sebagai daya eksternal untuk *board* ketika tidak menggunakan USB. Selain itu juga sebagai jalur suplai tegangan eksternal dan melindungi *board* dari tegangan berlebihan.

3. Voltage Regulator

Fungsi voltage regulator pada Arduino adalah untuk mengontrol atau menurunkan tegangan yang diberikan ke *board* Arduino dan menstabilkan tegangan DC yang digunakan oleh prosesor dan lainnya.

4. *Crystal Oscillator*

Komponen ini adalah komponen terpenting dari Arduino, karena komponen ini menghasilkan signal yang dikirim ke mikrokontroler agar dapat melakukan sebut operasi untuk setiap detaknya. Kristal ini berdetak 16 juta kali per detik(16MHz). Komponen ini membantu Arduino dalam hal yang berhubungan dengan waktu. Angka yang tertulis pada bagian atas crystal 16.000H9H yang berarti frekuensi dari oscillator tersebut adalah 16.000.000 Hertz atau 16 MHz.

5. Arduino Reset

Terdapat dua cara untuk mereset pada Arduino, pertama dengan menggunakan reset button pada *board* Arduino dan kedua, dengan menambah reset eksternal ke pin Arduino yang berlabel RESET.

6. Supply 3.3 *output* volt

Supply 3.3V berfungsi sebagai sumber daya bagi rangkaian eksternal yang pada supply 3.3V memiliki regulator tambahan untuk mendukung modul atau sensor yang hanya dapat beroperasi pada tegangan 3.3V.

7. Supply 5 volt

Pin 5V merupakan tegangan utama yang digunakan mikrokontroler ATmega328P dan dapat dimanfaatkan untuk mensupply sensor atau modul dengan kebutuhan tegangan 5V.

8. Ground

Pin ground berfungsi sebagai titik acuan tegangan dengan potensial nol volt sekaligus jalur kembali arus listrik. Ground sangat penting karena berperan dalam menyamakan referensi tegangan ketika Arduino dihubungkan dengan sensor atau modul eksternal, sehingga komunikasi data dan pembacaan sinyal dapat berlangsung dengan stabil.

9. V Input

Pin ini seperti sumber daya AC yang digunakan untuk memberi daya ke *board* Arduino dari sumber daya eksternal.

10. Analog pins

Board Arduino UNO memiliki 6 pin *input* analog yaitu A0 sampai A5. Pin-pin tersebut dapat membaca tegangan dan sinyal yang dihasilkan oleh sensor analog seperti sensor kelembaban atau temperature dan mengubahnya menjadi nilai digital yang dapat dibaca oleh mikrokontroler. Program dapat membaca nilai sebuah pin *input* antar 0 – 1023, di mana hal itu mewakili nilai tegangan 0 – 5 V.

11. Main Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan otak dari *board* Arduino. Mikrokontroler yang sering digunakan adalah ATMEL. Sebelum memulai memrogram Arduino melalui Arduino IDE kita harus mengetahui IC yang dimiliki oleh *board* Arduino. Informasi tentang IC terdapat pada bagian atas IC.

12. ICSP pin

ICSP (In-Circuit Serial Programming) adalah header 6 pin pada Arduino yang digunakan untuk memprogram langsung mikrokontroler ATmega328p melalui

antarmuka SPI. Pin ini berfungsi untuk membakar *bootloader* melakukan pemrograman tanpa melalui port USB, serta mendukung komunikasi SPI dengan modul eksternal seperti SD card atau modul Ethernet.

13. Power LED indikator

LED ini harus menyala jika menghubungkan Arduino ke sumber daya. Jika LED tidak menyala, maka terdapat sesuatu yang salah dengan sambungannya.

14. TX dan RX LED

TX dan RX LED berfungsi untuk menunjukkan aktivitas komunikasi serial. LED T akan menyala ketika *board* mengirimkan data sedangkan LED RX menyala ketika menerima data.

15. Digital I/O

Board Arduino UNO memiliki 14 pin I/O digital, 6 pin *output* menyediakan PWM (Pulse Width Modulation). Pin-pin ini dikonfigurasi sebagai pin digital *input* untuk membaca nilai logika (0 atau 1) atau sebagai pin digital *output* untuk mengendalikan modul-modul seperti LED, relay, dan lainnya. Pin yang berlabel “~” bisa digunakan untuk membangkitkan PWM.

16. AREF

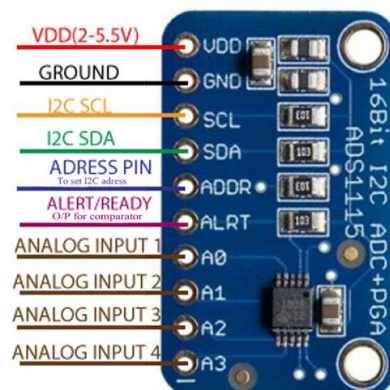
AREF adalah singkatan dari Analog Reference. AREF biasanya digunakan untuk mengatur tegangan referensi eksternal (antara 0 dan 5V) sebagai batas atas untuk pin *input* analog *input*.

Tabel 2. 4 Spesifikasi Arduino UNO

No	Fitur	Spesifikasi
1.	Mikrokontroler	Atmega328P
2.	Memori	32 KB Flash (0.5 KB bootloader), 2 KB SRAM, 1 KB EEPROM
3.	I/O Pins	14 digital (6 PWM), 6 analog (10-bit)
4.	Komunikasi	UART (0/1), SPI (10 – 13), I ² C (A4/A5)
5.	Tegangan Operasi	5 V
6.	Catu Daya Eksternal	7 – 12 V (direkomendasikan), maksimal 20 V
7.	<i>Output</i> Regulator	5 V, 3.3 V (maks 50 mA)
8.	Arus Pin	20 mA, 40 mA maks
9.	Fitur R3 Tambahan	SDA/SCL, IOREF, NC pin, USB-to-Serial Atmega16U2
10.	Dimensi	~68.6 × 53.4 mm

2.2.9 ADS1115

Analog to Digital Converter (ADC) merupakan komponen penting dalam sistem minimum mikrokontroler yang berfungsi untuk mengubah sinyal analog menjadi data digital. Arduino UNO memiliki ADC internal 10-bit dengan enam kanal analog (A0-A5). Namun, adanya keterbatasan jumlah kanal ini menjadi kendala ketika sistem membutuhkan lebih banyak masukan analog, seperti pada solar tracker dengan enam sensor LDR dan sensor tegangan. Untuk mengatasi hal tersebut dapat digunakan modul ADS1115 yang merupakan ADC eksternal 16-bit dengan komunikasi I²C. Modul ini menambahkan jumlah kanal analog dan meningkatkan resolusi pembacaan, sehingga sistem dapat melakukan akuisisi data cahaya secara lebih presisi. Hal ini merupakan kombinasi ADC internal Arduino UNO dan ADS1115 di mana sistem dapat membaca seluruh sensor yang dibutuhkan.



Gambar 2. 12 Pin ADS1115

Tabel 2. 5 Spesifikasi ADS1115

No.	Fitur	Spesifikasi
1.	Tegangan Supply	2 – 5.5V
2.	Pin ADC	16-bit
3.	Komunikasi Arus	150 μ A
4.	Antarmuka	I2C
5.	Laju data yang diprogram	8SPS – 860SPS
6.	860 sampel/detik melalui I2C	
7.	Osilator Internal	

2.2.10 Resistor

Resistor merupakan salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai penahan arus yang mengalir dalam suatu rangkaian dan berupa terminal dua komponen elektronika yang menghasilkan tegangan pada terminal yang sebanding dengan arus listrik yang melewatinya sesuai dengan hukum Ohm ($V = IR$), yang berarti resistor adalah komponen dasar elektronika yang digunakan untuk membatasi atau menghambat arus listrik yang melewatinya dalam suatu rangkaian. Berikut adalah fungsi resistor secara lengkap:

1. Untuk menahan sebagian arus listrik agar sesuai dengan kebutuhan suatu rangkaian elektronika.
2. Sebagai penurun tegangan sesuai dengan yang dibutuhkan oleh rangkaian elektronika.
3. Sebagai pembagi tegangan.
4. Sebagai pembangkit frekuensi tinggi dan frekuensi rendah dengan bantuan transistor dan kondensator (kapasitor).



Gambar 2. 13 Rangkaian Resistor

Setiap resistor terdapat kode warna berupa cincin-cincin untuk mengetahui berapa nilai resistansi (hambatan) sebuah resistor tetap. Banyaknya cincin kode warna setiap resistor berjumlah 4 cincin atau ada juga 5 cincin bahkan lebih. Dalam penelitian ini menggunakan resistor tetap. Resistor tetap merupakan resistor yang nilai hambatannya tidak dapat diubah-ubah dan besarnya sudah ditentukan oleh pabrik yang membuatnya. Ciri fisik dari resistor jenis ini adalah bahan pembuat resistor berada di tengah, dan pada kedua ujungnya terdapat conducting metal, kemasan seperti ini yang dinamakan dengan axial.



Gambar 2. 14 Resistor

Tabel 2. 6 Spesifikasi Resistor

Parameter	Karakteristik
Daya Maksimum	0.25W
Toleransi	$\pm 5\%$
Jenis	Karbon film, kaki axial (dipasang di PCB/Breadboard)
Ukuran Body	± 2.3 mm diameter $\times$ 6.3 mm panjang
Diameter kaki	± 0.55 mm, panjang ± 28 mm
Tegangan Kerja maks	± 250 V
Tegangan lebih beban maks	± 500 V
Rentang Suhu Operasi	-50°C sampai + 155°C

2.2.11 Real Time Clock (RTC)

Real Time Clock (RTC) adalah modul yang berfungsi untuk menyimpan dan menjaga waktu secara terus-menerus, mencakup informasi jam, menit, detik, hari, tanggal, bulan, dan tahun. Modul ini biasanya dilengkapi dengan baterai cadangan, sehingga tetap bekerja meskipun mikrokontroler seperti Arduino Uno dalam keadaan mati atau dilepas dari sumber daya. Dalam sistem *solar tracker dual axis*, RTC memiliki peran penting untuk mengatur waktu operasional panel surya, seperti menentukan kapan panel mulai mengikuti arah matahari dan kapan harus kembali ke posisi awal saat matahari terbenam.



Gambar 2. 15 *Real Time Clock*

Selain itu, RTC sangat berguna untuk proses pencatatan data (data logging), di mana data sensor seperti intensitas cahaya, suhu, dan tegangan panel disimpan bersamaan dengan informasi waktu pengembalian. Dengan adanya RTC, sistem dapat berjalan secara otomatis berdasarkan waktu nyata dan menghasilkan data yang lebih akurat serta terstruktur untuk keperluan analisis daya keluaran panel surya.

Tabel 2. 7 Spesifikasi RTC

Parameter	Karakteristik
Operating Voltage	2.3V – 5.5V
Maximum Voltage at SDA, SCL	VCC + 0.3V
Operating temperture	-45°C to +80°C
Consumes	500nA on battery backup

2.2.12 Modul SD Card

Modul SD Card adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk menyimpan dan membaca data menggunakan *Secure Digital (SD) memory card*. Modul ini sering digunakan pada mikrokontroler seperti Arduino untuk menyimpan data secara permanen, misalnya data sensor, log waktu, atau hasil pengukuran [20]. Berikut adalah prinsip kerja modul SD card:

1. Modul SD card berkomunikasi dengan mikrokontroler menggunakan SPI (*Serial Peripheral Interface*) atau SDIO (*Secure Digital Input Output*).
2. Data dari sensor atau sistem dikirim melalui mikrokontroler ke modul SD Card dalam bentuk file teks, CVS, atau format lainnya.

3. File yang tersimpan dapat dibuka menggunakan komputer untuk analisis lebih lanjut.



Gambar 2. 16 Modul SD Card

Tabel 2. 8 Spesifikasi Modul SD Card

Parameter	Keterangan
Tegangan Kerja	3.3V – 5V
Antarmuka	SPI
Pin Modul	CS, SCK, MOSI, MISO, VCC, GND
Pin CS	Untuk komunikasi SPI
Pin SCK	Untuk sinkronisasi data
Pin MOSI	Jalur data dari SD Card ke Arduino
Pin VCC	Tegangan Suplai 3.3V – 5V
Pin GND	Ground

2.2.13 Solar Charge Controller (SCC)

Solar Charge Controller adalah salah satu komponen di dalam sistem panel surya, yang berfungsi sebagai pengatur arus listrik yang masuk dari panel surya dan arus beban yang keluar (digunakan). Selain itu juga sebagai penjaga baterai ketika pengisian yang berlebihan. *Solar Charge Controller* mengatur tegangan dan arus dari panel surya ke baterai. Fungsi dan fitur pada SCC adalah sebagai berikut [13]:

1. Saat pengisian tegangan di baterai mencapai keadaan penuh, maka controller akan menghentikan arus listrik yang masuk ke dalam baterai untuk mencegah

pengisian berlebihan. Hal ini membuat ketahanan baterai akan lebih tahan lama.

2. Ketika tegangan pada baterai dalam keadaan kosong, maka controller berfungsi menghentikan pengambilan arus listrik dari baterai oleh beban. Dalam kondisi tegangan tertentu (umumnya sekitar 10% sisa tegangan di baterai), maka pemutusan arus beban dilakukan oleh controller. Hal ini dapat menjaga baterai dan mencegah kerusakan pada sel-sel baterai. Indikator lampu pada kebanyakan model controller akan menyala dengan warna tertentu (umunya warna merah atau kuning) yang menunjukkan bahwa baterai dalam proses pengisian. Dalam kondisi ini, jika sisa arus di baterai kosong (di bawah 10%), maka pengambilan arus listrik dari baterai akan diputus oleh controller dan beban tidak dapat beroperasi.



Gambar 2. 17 *Solar Source Controller*

Tabel 2. 9 Spesifikasi *Solar Charge Controller*

Parameter	Karakteristik
Tegangan Kerja	12V/24V
Arus Maksimum (Charge/Load)	10A
Mode Pengisian	PWM
Tegangan Float	13.7V
Tegangan Cut-off	10.7V
Tegangan Reconnect	12.6V
Port USB	5V/1A
Suhu Operasi	-35°C ~ +60°C
Konsumsi Daya sendiri	≤ 10mA

2.2.14 AKI

Baterai adalah alat yang menyimpan energi listrik melalui proses elektrokimia. Proses elektrokimia berada di dalam baterai yang terjadinya perubahan kimia menjadi listrik (proses pengosongan) dan listrik menjadi kimia dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda pada baterai yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan pada sel [21]. Umumnya aki yang digunakan dalam sistem tenaga surya atau sistem kelistrikan Cadangan merupakan jenis aki timbal-asam (*lead-acid battery*), dengan konfigurasi sel elektrokimia yang menghasilkan tegangan nominal 2V per sel.



Gambar 2. 18 AKI 7Ah 12V

Prinsip kerja aki adalah saat charge (pengisian ulang), reaksi berlangsung sebaliknya sehingga ion-ion sulfat dilepaskan dari elektroda dan kembali menjadi asam sulfat, dengan demikian aki termasuk jenis secondary cell (baterai isi ulang).

Tabel 2. 10 Spesifikasi Aki

Parameter	Karakteristik
Kapasitas	9Ah
Tegangan	12V
Tegangan Pengisian (Cycle Use)	14.4V – 15V (25°C)
Tegangan Standby / float Use	13.6V – 13.8V (25°C)
Arus Pengisian Maksimum	$\leq 2.7A$
Resistansi Internal	$\pm 18 \text{ m}\Omega$
Kapasitas pada Discharge	1 jam $\pm 5.4Ah$ 10 jam $\pm 8.5Ah$ 20 jam $\pm 9Ah$

2.2.15 Adaptor

Listrik yang digunakan di rumah, kantor dan lain-lain adalah menggunakan arus listrik dari PLN yang didistribusikan dalam bentuk arus bolak balik (AC). Akan tetapi, sebagian besar peralatan yang digunakan membutuhkan arus DC (arus searah) dengan arus yang lebih rendah untuk pengoperasiannya. Oleh karena itu diperlukan sebuah alat atau rangkaian elektronika yang bisa mengubah arus AC menjadi arus DC dan juga menyediakan tegangan sesuai yang dibutuhkan. Rangkaian yang berfungsi untuk mengubah arus AC menjadi DC tersebut disebut dengan DC power supply atau adaptor.



Gambar 2. 19 Adaptor 12V 5A

Rangkaian adaptor ada yang dipasang atau dirakit langsung pada peralatan elektroniknya dan ada juga yang dirakit secara terpisah. Pada adaptor yang dirakit secara terpisah merupakan adaptor yang bersifat universal yang mempunyai tegangan *output* yang bisa diatur sesuai kebutuhan, misalnya 3V, 6V, 9 dan seterusnya. Selain itu ada juga adaptor yang hanya menyediakan besar tegangan tertentu dan diperuntukkan untuk rangkaian elektronika tertentu misalnya adaptor laptop dan adaptor monitor.

Tabel 2. 11 Spesifikasi Adaptor

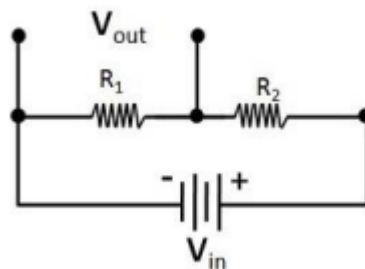
Parameter	Karakteristik
<i>Input</i>	100 – 240 V AC
<i>Output</i>	12V DC 5A
Bahan	Aluminium/logam casing

Suhu Operasi	-10°C hingga +50°C
--------------	--------------------

2.2.16 Pembagi Tegangan

Pembagi tegangan atau *voltage divider* adalah suatu rangkaian sederhana yang dapat mengubah tegangan besar menjadi tegangan yang lebih kecil. Fungsi pembagi tegangan pada rangkaian elektronika adalah untuk membagi Tegangan *Input* menjadi satu atau beberapa Tegangan *Output* yang diperlukan oleh komponen lainnya pada rangkaian. Dengan menggunakan dua buah resistor atau lebih dan tegangan *input* dapat membuahkan sebuah rangkaian pembagi tegangan yang sederhana. Berikut adalah rumus rangkaian pembagi tegangan:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in} \quad (1)$$



Gambar 2. 20 Rangkaian Pembagi Tegangan

Pembagi tegangan merupakan konsep dasar elektronika yang memanfaatkan hukum Ohm untuk menurunkan tegangan *input* menjadi tegangan output. Dengan merangkai sensor LDR sebagai salah satu komponen resistor, rangkaian ini dapat mengubah intensitas cahaya menjadi sinyal tegangan yang masih diproses mikrokontroler. Oleh karena itu, pembagi tegangan pada sensor LDR sangat penting dalam sensor berbasis cahaya, termasuk pada sistem solar tracker.