

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang sangat cocok untuk pemanfaatan energi surya melalui pemasangan solar panel. Hal ini dikarenakan Indonesia berada di garis khatulistiwa yang mendapatkan sinar matahari sepanjang tahun. Indonesia memiliki rata-rata penyinaran matahari sekitar 4,8 kWh/m²/hari (Tjin-Swan & Sutanto, 2014). Angka ini jauh di atas rata-rata penyinaran matahari di negara-negara Eropa dan Amerika Serikat. Selain itu, sebagian wilayah Indonesia hanya memiliki 2 musim yaitu musim kemarau dan penghujan yang masih memungkinkan sinar matahari tetap optimal di musim penghujan. Kondisi geografis ini sangat cocok untuk pembangkit listrik tenaga surya skala besar maupun skala kecil di rumah tangga. Pemanfaatan energi surya melalui solar panel di Indonesia dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan mengurangi emisi karbon. Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat besar untuk dikembangkan melalui pembangunan pembangkit listrik tenaga surya di berbagai daerah.

Panel surya atau panel *photovoltaic* adalah perangkat yang dapat mengubah energi matahari menjadi listrik. Panel surya terbuat dari sel-sel *photovoltaic* yang menghasilkan arus listrik saat terkena cahaya matahari (Felycia, 2020). Panel surya memiliki sejumlah kelebihan dibandingkan sumber energi konvensional. Kelebihan panel surya antara lain ramah lingkungan karena tidak menghasilkan polusi saat beroperasi, sumber energi terbarukan, perawatan yang sederhana, dan mampu menghasilkan listrik secara mandiri di area terpencil yang sulit dijangkau oleh

jaringan listrik. Namun, panel surya juga memiliki beberapa kekurangan yaitu membutuhkan investasi awal yang mahal, efisiensi konversi energi yang masih terbatas, serta ketergantungan pada kondisi cuaca dan iklim. Oleh karena itu, optimasi teknologi panel surya terus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan menurunkan biaya sistem panel surya.

Laboratorium Energi Baru Terbarukan Teknik Elektro Universitas Maritim Raja Ali Haji adalah laboratorium yang dilengkapi dengan peralatan untuk melakukan percobaan, uji coba, penelitian, praktik pembelajaran serta kegiatan perkuliahan dengan fokus pada percobaan energi baru terbarukan. Laboratorium EBT memiliki banyak solar panel yang dapat digunakan untuk bahan pembelajaran serta *project* mahasiswa. Berdasarkan observasi lapangan di Laboratorium Energi Baru Terbarukan Teknik Elektro, pada pagi hari *output* dari panel surya 50 WP sebesar 8,4 V dan 0,42 A dengan intensitas cahaya matahari sebesar 3.279 lux, pada siang hari intensitas cahaya matahari sebesar 38.270 lux menghasilkan *output* 14,77 V dan 3,00 A, pada sore hari intensitas cahaya matahari sebesar 17.010 lux menghasilkan *output* 10,51 V dan 1,7 A. Berdasarkan observasi lapangan *output* dari panel surya dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari. Hal ini sesuai dengan pendapat Hidayati, Yanti, & Jamal (2020) yang mengatakan untuk mendapatkan efisiensi *output* maksimum dari panel surya, maka panel surya harus selalu dalam posisi menghadap arah cahaya matahari.

Salah satu optimasi teknologi panel surya adalah *solar tracker*. Energi listrik yang dihasilkan dari suatu panel surya tergantung pada besar intensitas sinar matahari yang diterima oleh panel surya, hal ini berarti untuk mendapatkan efisiensi

maksimum panel surya, panel surya ini harus selalu berhadapan dengan matahari. *Solar tracker* adalah teknologi yang memungkinkan panel surya (*photovoltaic*) mengikuti pergerakan matahari secara otomatis agar dapat selalu menghadap ke arah datangnya sinar matahari secara optimal. *Solar tracker* bertujuan untuk memaksimalkan penyerapan energi matahari oleh panel surya sehingga efisiensi dan produksi listriknya dapat ditingkatkan (Alauddin, Zainal, & Akbar, 2023).

Pada penelitian Hashim, Ismail, & Azizi (2020), fokus penelitian membangun sistem *solar tracking* menggunakan LDR untuk menavigasi panel surya untuk mendapatkan sudut paparan cahaya matahari terbaik. Namun sensor LDR yang digunakan terlalu sensitif sehingga mudah mengalami kegagalan fungsi. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan sensor BH1750. Sensor BH1750 memiliki akurasi dan stabilitas yang lebih tinggi serta lebih mudah digunakan jika dibandingkan dengan sensor LDR yang memiliki keluaran sinyal analog dan perlu melakukan perhitungan untuk mendapatkan data intensitasnya (Perdana, Rosma, & Azriyenni, 2017).

Berdasarkan uraian sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem *solar tracking* menggunakan BH1750. Sistem ini dirancang untuk dapat digunakan tanpa perlu penyesuaian pengaturan kontrol terhadap lintasan gerak matahari. Dengan demikian, diharapkan sistem ini dapat menjadi kontribusi dalam upaya untuk meningkatkan daya dari panel surya.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka pokok permasalahan yang dihadapi adalah bagaimana merancang sistem *solar tracking* menggunakan BH1750 untuk meningkatkan *output* daya panel surya.

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah merancang sebuah sistem *solar tracking* menggunakan BH1750 untuk mengoptimalkan *output* daya dan melihat serta menganalisis pola tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh panel surya.

D. Batasan Masalah

1. *Solar tracker* ini nantinya dikontrol oleh mikrokontroler ESP32, ESP32 adalah pengendali mikro *single-board* yang bersifat *open-source*, diturunkan dari *Wiring platform*, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang.
2. *Solar tracker* ini nantinya menggunakan *motor power window* sebagai penggerak tanpa melakukan tinjauan mengenai ukuran atau spesifikasi motor yang sesuai untuk beban tertentu.
3. Panel surya yang digunakan untuk menerima penyerapan energi memiliki daya output 50 WP.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah memperoleh data solar panel jenis *polycrystalline* melalui sistem *solar tracking*. *Solar tracker* yang dirancang dapat dimanfaatkan bagi instansi maupun peneliti untuk mengumpulkan data sehingga

dapat memudahkan penelitian. Pemanfaatan *solar tracker* pada rancangan sekaligus dapat dijadikan sumber pengetahuan baru bagi mahasiswa terutama yang belajar di bidang elektronika dan energi terbarukan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Terdahulu

Energi matahari merupakan sumber daya listrik yang ekonomis, karena dibandingkan dengan penggunaan generator, panel surya dapat mengubah langsung radiasi matahari menjadi energi listrik. Daya *output* panel surya dipengaruhi oleh intensitas matahari dan sudut datangnya. Panel surya tradisional yang dipasang pada sudut tertentu memiliki keterbatasan area paparan sinar matahari karena perputaran bumi. Dengan adanya *Solar Tracker*, konsumsi bahan bakar fosil dapat berkurang dan lingkungan dapat menjadi lebih bersih. *Solar Tracker* ini akan mengikuti pergerakan matahari sepanjang hari untuk memastikan penerimaan sinar matahari maksimum pada panel surya (Hashim, Ismail & Azizi, 2020).

Penelitian yang dilakukan oleh Veligorskyi, Kosenko, & Stepenko (2014) telah membuktikan efisiensi dari *solar tracker*. Penggunaan *solar tracker* pada panel surya meningkatkan efisiensinya, dibandingkan dengan panel yang dipasang pada sudut tetap 45 derajat terhadap cakrawala, dengan peningkatan efisiensi sepanjang tahun yang tidak kurang dari 27%. Pada kondisi musim panas, efisiensi panel surya dengan pelacak dapat meningkat hingga 76%.

Helena (2022) pada penelitian yang berjudul “Unjuk Kerja *Single Axis Solar Tracker* Berdasarkan Perubahan Waktu Pergerakan Matahari”. Tujuan penelitian untuk mengoptimalkan penyerapan energi matahari dengan membuat *chronological single axis solar tracker*. *Solar tracker* ini adalah bentuk pelacakan yang terorganisir berdasarkan waktu, di mana perangkat ini bergerak pada tingkat yang konstan sepanjang hari. Pemanfaatan modul waktu RTC DS3231 digunakan

untuk mengatur pergerakan solar tracker agar sesuai dengan pergerakan matahari selama waktu. Sistem ini dapat mencapai 70 Watt untuk *output* daya dari panel surya.

Asri & Serwin (2019) membangun sistem *solar tracking* menggunakan LDR sebagai pendeteksi dan menerima cahaya matahari. Berdasarkan pengukuran daya listrik output, sistem *solar tracking* menunjukkan nilai rata-rata yang lebih tinggi, yakni sebesar 1.349 Watt dibandingkan dengan 1.225 Watt pada sistem solar panel statis. Oleh karena itu, terdapat peningkatan daya listrik sebesar 10,1% ketika menggunakan *solar tracker* dibandingkan dengan sistem statis, menunjukkan bahwa pelacakan matahari memberikan optimasi yang signifikan pada hasil daya listrik.

Nugraha, Krismanto, & Nakhoda (2020) membangun *solar tracker* menggunakan LDR dan logika fuzzy. Hasil dari pengujian *solar tracker* yang telah dilaksanakan dapat menghasilkan tegangan 38,5 V dengan rata-rata arus 4,33 A dan daya 166.705 watt. Total energi listrik yang dihasilkan dengan *solar tracker* adalah 2.155.549 Wh.

B. Landasan Teori

Landasan teori mencakup kumpulan prinsip, konsep, dan teori yang relevan dengan topik tertentu. Dalam penelitian ilmiah, landasan teori digunakan untuk merinci konsep-konsep yang mendasari studi, memberikan dasar untuk merumuskan pertanyaan penelitian, dan memandu interpretasi hasil. Landasan teori juga dapat mencakup kajian literatur yang menyelidiki penelitian atau temuan terdahulu yang terkait. Dengan merumuskan landasan teori yang kokoh, penelitian

memiliki dasar yang kuat untuk merancang metode, menganalisis data, dan menyusun temuan.

1. *Solar Cell*

Solar cell atau sel surya adalah perangkat yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. *Solar cell* bekerja berdasarkan efek *photovoltaic*, di mana cahaya matahari yang mengenai permukaan sel surya akan melepaskan *elektron* dari bahan semi-konduktor seperti silikon sehingga menghasilkan arus listrik. *Solar cell* umumnya dibuat dari bahan semi-konduktor seperti silikon, gallium arsenide, copper indium gallium selenide (CIGS), dan bahan lainnya (Felycia, 2020).

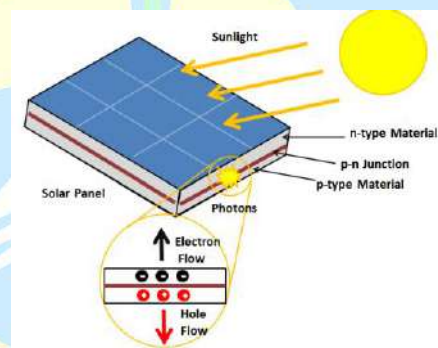
Terdapat 2 jenis utama *solar cell*, yaitu *solar cell crystalline silicon* yang terbuat dari wafer silikon murni dan *solar cell thin layer* yang terbuat dari film semi-konduktor yang sangat tipis. *Solar cell crystalline silicon* memiliki efisiensi konversi energi cahaya ke listrik sekitar 15-20%, tapi membutuhkan proses manufaktur yang mahal. Sementara *solar cell thin layer* lebih murah untuk diproduksi tetapi efisiensinya sedikit lebih rendah yaitu 10-15%.



Gambar 1. *Thin film dan crystalline silicon solar cell*

Solar cell atau sel surya dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi listrik karena adanya efek *photovoltaic* pada bahan semi-konduktor penyusun sel

surya. Ketika cahaya matahari mengenai permukaan *solar cell*, *foton* cahaya akan diserap oleh *elektron* di bahan semi-konduktor. Jika energi *foton* cukup besar, *elektron* akan terlepas dari ikatan atomnya dan menjadi *elektron* bebas. *Elektron* yang terlepas ini akan mengalir melalui material semi-konduktor dan menimbulkan arus listrik. *Solar cell* umumnya dibuat dari dua lapis bahan semi-konduktor yang bertipe P dan N sehingga terbentuk medan listrik. *Elektron* akan mengalir dari lapisan N ke P ketika terkena cahaya matahari, sehingga menghasilkan tegangan. Proses konversi energi cahaya ke listrik pada solar cell inilah yang disebut efek *photovoltaic*. Kumpulan *solar cell* disusun membentuk panel surya untuk menghasilkan daya listrik yang lebih besar (Budiarta, Kartini, Haryudo, & Agung, 2022).



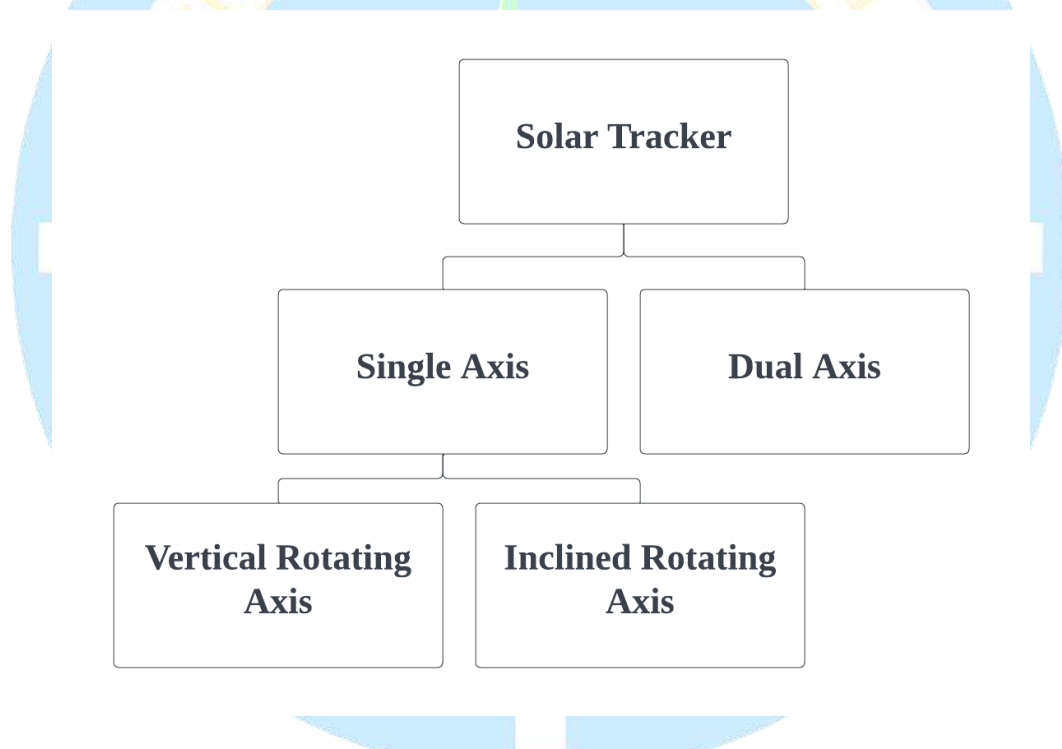
Gambar 2. *Photovoltaic effect* pada solar panel

2. *Solar Tracker*

Solar tracker adalah kombinasi dari suatu sistem yang memiliki kemampuan untuk mendeteksi dan mengikuti arah matahari dengan tujuan untuk memaksimalkan penerimaan energi cahaya matahari. Sistem ini akan diterapkan pada panel surya atau *solar cell*. Alasan di balik pemberian fungsi pelacakan pada panel surya adalah untuk meningkatkan efisiensi daya yang dihasilkan oleh PV. Semakin

tegak lurus PV terhadap matahari, semakin besar daya *output* yang dihasilkan (Setiadi & Hartomo, 2022b). Ini memiliki dampak signifikan pada jumlah energi listrik yang dihasilkan setiap hari. Daya listrik yang dihasilkan akan meningkat secara signifikan dibandingkan dengan panel surya yang tidak bergerak (*statis*) (Asri & Serwin, 2019). Komponen-komponen penting dalam *solar tracker* mencakup sensor, pengendali (*controller*), motor dan panel surya.

Solar tracker secara umum dapat diklasifikasikan menjadi dua tipe yaitu *single axis* dan *dual axis* seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Jenis *solar tracker*

Jenis sistem *solar tracking* dapat dibagi menjadi 3 berdasarkan teknologinya yaitu pasif, aktif, dan kronologis. Tabel 1 menyimpulkan operasi, keuntungan dan kekurangan untuk setiap jenis teknologi sistem *solar tracker*.

Tabel 1. keuntungan dan kekurangan jenis teknologi sistem *solar tracker*

Teknologi	Deskripsi	Kelebihan	Kekurangan
Pasif	<i>Solar tracker</i> pasif berisi cairan dengan titik rendah yang akan menguap saat terkena radiasi matahari	a. Bekerja tanpa menggunakan motor atau aktuator b. Instalasi yang mudah c. Biaya perawatan murah	a. Ketergantungan yang kuat pada kondisi cuaca b. Tingkat akurasi rendah
Aktif	Mengandalkan motor atau silinder hidrolik dan sensor sebagai pendeteksi cahaya.	a. Lebih akurat b. Efisien dalam melacak posisi matahari	a. Membutuhkan konsumsi daya yang besar b. Tidak selalu akurat dalam kondisi berawan
Kronologis	Sistem pelacakan berbasis waktu yang memiliki rotasi putar beberapa derajat per jam	a. Tidak ada kerugian daya b. Error pelacakan yang rendah	a. Rotasi terus menerus membutuhkan lebih banyak energi b. Pelacakan matahari pada hari yang sangat mendung tidak diperlukan

3. Tegangan Listrik

Tegangan listrik adalah total energi yang diperlukan untuk mengalirkan muatan listrik per satuan muatan dari satu tempat ke tempat lainnya. Besaran tegangan listrik diukur dalam satuan Volt dan sering kali disebut sebagai perbedaan potensial listrik, yang merujuk pada perbedaan potensial antara dua titik dalam suatu rangkaian listrik. Tegangan listrik juga dapat diinterpretasikan sebagai gaya yang mendorong pergerakan *elektron* melalui konduktor, dan semakin tinggi tegangan listriknya, semakin besar daya dorongnya terhadap perpindahan *elektron*. Terdapat dua jenis tegangan dalam listrik, yaitu tegangan searah (DC) dan tegangan bolak-balik (AC). Contoh sumber tegangan DC adalah baterai, panel surya, dan

accu. Sumber tegangan AC dihasilkan oleh PLN, generator listrik, dan jaringan komersial (Ramdhani, 2005). Persamaan tegangan listrik dapat dilihat pada persamaan 1 (Siswanto, Susantini & Jatmiko, 2018).

$$V = I \times R \quad (1)$$

Keterangan:

V : Tegangan listrik dalam satuan Volt (V)

I : Arus listrik dalam satuan Ampere (A)

R : Hambatan dalam satuan Ohm (Ω)

4. Arus Listrik

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir melalui penghantar per satuan waktu. Arus listrik diukur dalam satuan Ampere (A). Arus listrik timbul jika ada beda potensial listrik pada ujung konduktor. Arus listrik mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah. Arus listrik searah (DC) mengalir hanya dalam satu arah saja. Arus listrik bolak-balik (AC) berubah arah secara periodik. Arus AC dihasilkan generator listrik dan aliran listrik PLN. Arus DC dihasilkan baterai, panel surya, dan sumber tegangan searah lainnya (Ramdhani, 2005).

Arus listrik bergantung pada hambatan rangkaian. Semakin besar hambatan, semakin kecil arus listrik. Arus listrik juga dipengaruhi luas penampang konduktor. Konduktor yang lebih lebar memiliki hambatan lebih kecil. Arus listrik dimanfaatkan untuk mentransfer daya listrik agar peralatan elektronik dapat beroperasi. Arus listrik dapat menimbulkan efek panas dan medan magnet. Arus

berlebih dapat menimbulkan panas berbahaya pada komponen. Persamaan arus listrik dapat dilihat pada persamaan 2 (Siswanto, Susantini & Jatmiko, 2018).

$$I = V/R \quad (2)$$

Keterangan:

I : Arus listrik dalam satuan Ampere (A)

V : Tegangan listrik dalam satuan Volt (V)

R : Hambatan dalam satuan Ohm (Ω)

5. Daya Listrik

Daya listrik menyatakan laju penggunaan energi listrik atau total kerja yang dilakukan per satuan waktu. Daya listrik diukur dalam satuan Watt. Semakin besar daya listrik, semakin banyak kerja yang dilakukan. Daya listrik ditentukan oleh tegangan dan arus listrik. Terdapat daya listrik aktif dan daya listrik reaktif. Daya aktif digunakan untuk melakukan kerja. Daya reaktif digunakan untuk medan magnet. Pembangkit listrik harus mampu memasok daya aktif dan reaktif secara seimbang (Ramdhani, 2005). Daya listrik sangat penting dalam sistem kelistrikan. Gardu induk meningkatkan daya listrik tegangan tinggi menjadi tegangan rendah. Trafo distribusi menurunkan daya hingga 220 V untuk rumah tangga. Persamaan daya listrik dapat dilihat pada persamaan 3 (Siswanto, Susantini & Jatmiko, 2018).

$$P = V \times I \quad (3)$$

Keterangan:

P : Daya Listrik dalam satuan Watt (W)

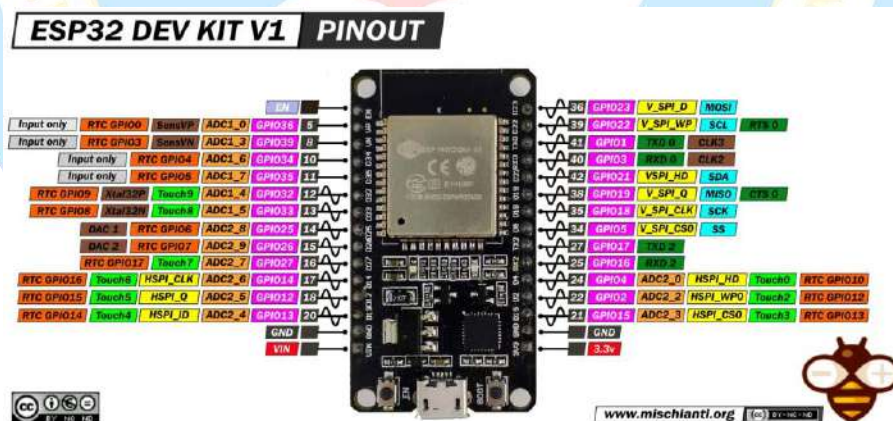
V : Tegangan listrik dalam satuan Volt (V)

I : Arus listrik dalam satuan Ampere (A)

C. Komponen

1. ESP32

Mikrokontroler merupakan suatu sistem mikroprosesor lengkap yang terintegrasi dalam satu *chip*. Berbeda dengan mikroprosesor serba guna yang digunakan dalam komputer pribadi (PC), mikrokontroler telah mencakup komponen pendukung sistem minimal mikroprosesor, seperti memori dan antarmuka I/O. Sebaliknya, mikroprosesor umumnya hanya mengandung CPU tanpa komponen pendukung lainnya (Suryono, Muhtar, Ruhyana, & Gunawan, 2023). ESP32 DEV KIT V1 dapat dilihat pada Gambar 4.



pengatur rangkaian elektronik. ESP32 memiliki daya yang efisien, dilengkapi dengan kemampuan WiFi hingga 150 Mbps dan koneksi *Bluetooth* multipel, WiFi pada ESP32 memiliki keandalan yang cukup tinggi karena dapat menjangkau sinyal hingga 25 meter, serta mendukung hingga 20 komponen dengan kapasitas memori yang lebih besar daripada pendahulunya, ESP8266. Selain itu, ESP32 memiliki 36 pin GPIO untuk menjalin lebih banyak konektivitas perangkat (Espressif Systems, 2023). ESP32 dapat diprogram lebih dari satu *software* pendukung (*Cross Platform*). ESP32 mendukung beberapa *environment* pemrograman. Beberapa *environment* pemrograman yang umum digunakan adalah: Arduino IDE, PlatformIO IDE (VS Code), LUA, MicroPython, Espressif IDF (*IoT Development Framework*), dan JavaScript. Spesifikasi ESP32 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi ESP32 DEV KIT V1

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Operating Voltage	2.2V to 3.6V DC
2	GPIO	36 Port
3	ADC	14 Port
4	DAC	2 Port
5	Flash Memory	16 Mbyte
6	SRAM	250 Kbyte
7	Clock Speed	Up to 240 MHz
8	Wi-Fi	2.4 GHz
9	Sleep Current	2.4 μ A

2. Modul *MicroSD Card*

Modul *MicroSD Card* berfungsi sebagai alat untuk mengakses data pada *microSD Card*. Wemos memiliki kemampuan untuk membaca serta menulis *file*. Modul ini terdiri dari 6 pin yang terbagi menjadi VCC, GND, MISO, MOSI, SCK, dan CS. Tegangan daya 3,3 Volt dihubungkan ke pin VCC. Pin GND terhubung dengan *ground*. Pin MISO (*Master-In Slave-Out*) merupakan jalur komunikasi data

yang mengalir dari perangkat *slave* ke perangkat *master*. Di sisi lain, pin MOSI (*Master Out Slave In*) berfungsi sebagai jalur komunikasi yang menghubungkan perangkat *master* dengan *slave* (Oktavia, 2022). Modul *MicsoSD Card* dapat dilihat pada Gambar 5 dan spesifikasi pada Tabel 3.



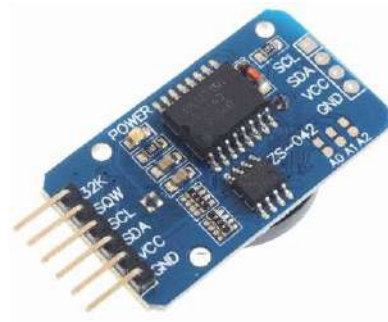
Gambar 5. Modul *MicroSD Card*

Tabel 3. Spesifikasi Modul *MicroSD Card*

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Operating Voltage	4.5V – 5.5V DC
2	Current	0.2 – 200 mA
3	Micro SD	Up to 2 GB
4	Micro SDHC	Up to 32 GB

3. RTC DS3231

Real Time Clock (RTC) adalah sebuah *chip clock* yang menyediakan informasi waktu dan tanggal yang akurat bahkan ketika catu daya utama dimatikan. RTC umumnya dilengkapi dengan baterai cadangan internal, sehingga dapat terus menjalankan penghitungan waktu meskipun catu daya utama terputus (Khan, Kabir & Hossain, 2012). RTC banyak digunakan pada sistem elektronik yang membutuhkan referensi waktu seperti komputer, alat perekam data, peralatan *monitoring*, dan lainnya. RTC DS3231 dapat dilihat pada Gambar 6 dan spesifikasi pada Tabel 4.



Gambar 6. RTC DS3231

Tabel 4. Spesifikasi RTC DS3231

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Voltage	2.3V – 5V DC
2	Communication	I2C up to 400kHz
3	Time Format	HH: MM: SS (12/24 hr)
4	Date Format	YY-MM-DD-dd
5	Operating Temperature Ranges	For Industrial (-40°C to +80°C) and Commercial (0°C to +70°C)

4. *Motor Power Window*

Motor power window adalah motor DC kecil yang digunakan untuk menggerakkan kaca jendela mobil secara elektrik. Motor ini mendapat suplai tegangan DC dari baterai mobil 12 V atau 24 V. *Motor power window* memiliki torsi yang cukup untuk naik turunkan kaca jendela berat. *Motor power window* dikendalikan oleh saklar yang ditekan untuk naik atau turunkan kaca. *Motor Power Window* dapat dilihat pada Gambar 7 dan spesifikasi pada Tabel 5.



Gambar 7. *Motor Power Window*

Tabel 5. Spesifikasi *Motor Power Window*

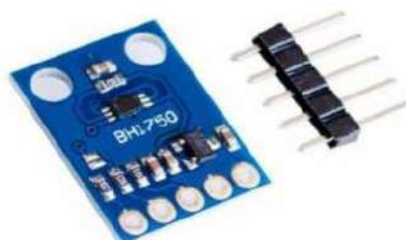
No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Voltage	12V DC
2	No-Load Current	3A
3	Rated Current	10A
4	Load Current	4.5A
5	Unload Speed	90 rpm
6	Rated Speed	60 +/- 10 rpm
7	Rated Torque	3 Nm (30.5 Kg/cm)

5. Sensor BH1750

BH1750 adalah sensor cahaya digital yang sangat populer dan digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi elektronik. Dirancang untuk mengukur intensitas cahaya ambien, sensor ini memberikan nilai yang akurat dalam bentuk digital yang mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler dan sistem kontrol otomatis. Dengan prinsip kerja berbasis fotodiode dan filter cahaya, BH1750 mampu memberikan pembacaan cahaya dalam berbagai kondisi lingkungan. Keunggulan utama dari BH1750 adalah kemampuannya untuk memberikan hasil pengukuran yang konsisten dan akurat di berbagai tingkat intensitas cahaya, mulai dari kondisi pencahayaan terang hingga gelap (Gao, Luo, Xu, & Yu, 2017). Sensor BH1750 juga memiliki akurasi tinggi dan presisi, unit keluaran lux dan tidak diperlukan kalibrasi (Yuliansyah, Corio, Yunmar, & Aziz, 2019).

BH1750 memiliki antarmuka komunikasi yang sederhana dan kompatibilitas yang baik dengan berbagai platform mikrokontroler seperti Arduino, ESP32 dan Raspberry Pi. Sensor ini menawarkan kinerja yang handal dan hemat daya, membuatnya ideal untuk proyek-proyek yang memerlukan pemantauan atau kendali berbasis cahaya. Dengan kombinasi keakuratan, kemudahan penggunaan, dan fleksibilitasnya, BH1750 telah menjadi pilihan yang umum digunakan dalam

komunitas pengembangan elektronika untuk memenuhi kebutuhan pengukuran cahaya dengan presisi. Sensor BH1750 dapat dilihat pada Gambar 8 dan Tabel 6.



Gambar 8. Sensor BH1750

Tabel 6. Spesifikasi Sensor BH1750

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Voltage	2.4V – 3.6V DC
2	Current	0.12 mA
3	Measuring Range	1 – 65535 lx
4	Communication	12C Bus

6. *Solar Charge Controller*

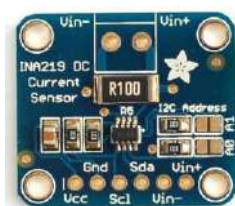
Solar Charge Controller (SCC) atau Pengontrol Pengisian Daya Surya adalah suatu alat elektronik yang digunakan dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya. Fungsi utama dari SCC adalah mengatur arus listrik yang mengalir dari panel surya ke baterai penyimpanan. SCC mencegah pengisian berlebih atau kekurangan pengisian pada baterai yang dapat merusak baterai. SCC bekerja dengan cara memantau tegangan baterai dan menerapkan algoritma pengisian untuk mengatur kapan arus listrik dari panel surya perlu didistribusikan ke beban atau disimpan ke baterai. Kapasitas daya panel surya yang dikelola SCC untuk sistem *solar home typical* berkisar 100-200 Watt. SCC dibuat dari rangkaian analog maupun digital, dan dilengkapi mikrokontroler serta driver MOSFET (Setiadi & Hartomo, 2022). *Solar Charger Controller* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. *Solar Charge Controller*

7. Sensor INA219

Sensor INA219 merupakan perangkat pengukuran arus dan tegangan yang sangat akurat, dirancang untuk mengukur arus dan tegangan dalam suatu sirkuit listrik. Presisi sensor INA219 dalam mengukur arus listrik dicapai melalui dua metode pengukuran, yaitu resistor sensing dan pengukuran shunt resistor yang terdapat dalam sirkuit. Dengan menggunakan kombinasi ini, sensor INA219 mampu mengukur arus dalam rentang yang luas, mulai dari miliampere (mA) hingga ampere (A). Selain itu, sensor INA219 dilengkapi dengan berbagai fitur tambahan seperti pemantauan daya, perhitungan daya, deteksi arus mundur, dan perlindungan arus berlebih. Keberagaman fitur ini membuat sensor INA219 banyak digunakan dalam berbagai pengukuran, termasuk pengukuran daya pada sistem tenaga, sistem panel surya, pemantauan baterai, dan pengukuran presisi lainnya pada komponen elektronika. INA219 dapat dilihat pada Gambar 10 dan spesifikasi pada Tabel 7.



Gambar 10. Sensor INA219

Tabel 7. Spesifikasi Sensor INA219

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Voltage	3V – 5.5V DC
2	Bus Voltage Range	0 – 26V DC
3	Current Sensing Range	$\pm 3.2\text{A}$ with $\pm 0.8\text{mA}$ resolution
4	Shunt Resistor	0.1 ohm 1% 2W Current Sensing Resistor

8. *Motor Driver* IBT-2

Motor driver IBT-2 (IBT-2 H-Bridge) adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengendalikan arah dan kecepatan motor DC atau motor *brushless*. Dirancang dengan teknologi H-Bridge, *motor driver* ini mampu mengendalikan putaran motor dengan arah maju atau mundur serta mengatur kecepatan motor secara proporsional. *Motor driver* IBT-2 memiliki berbagai fitur yang membuatnya sangat sesuai untuk aplikasi di lapangan. Salah satunya adalah kemampuannya untuk menangani beban arus tinggi hingga beberapa puluh ampere, membuatnya cocok untuk mengendalikan motor yang memerlukan daya besar. Selain itu, IBT-2 dilengkapi dengan perlindungan termal dan perlindungan arus berlebih untuk menjaga keandalan dan keselamatan operasinya. Dengan demikian, IBT-2 merupakan pilihan yang dapat diandalkan untuk mengendalikan motor dalam berbagai skenario aplikasi, dari robotika hobi hingga sistem otomatisasi industri yang lebih kompleks. *Motor driver* IBT-2 dapat dilihat pada Gambar 11.

**Gambar 11.** *Motor Driver* IBT-2

9. Baterai *Accu*

Accu atau aki (*accumulator*) adalah sumber energi listrik yang dapat diisi ulang berupa sel elektrokimia. *Accu* menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia dan mengubahnya kembali menjadi energi listrik saat diperlukan. *Accu* terdiri dari beberapa sel yang masing-masing mengandung elektroda positif dan negatif. Reaksi kimia yang terjadi pada elektroda menghasilkan arus listrik. *Accu* mobil menggunakan pelat timbal dan asam sulfur. Sedangkan *accu* NiCd dan NiMH menggunakan nikel dan cadmium atau metal hydride. *Accu* digunakan secara luas karena dapat diisi ulang. Contoh pemanfaatan *accu* antara lain untuk kendaraan listrik, *power backup*, alat elektronik portabel, dan piranti medis. Kapasitas *accu* diukur dalam satuan Ah (*ampere-hour*). Semakin tinggi kapasitas Ah, semakin banyak listrik yang dapat disimpan *accu*. Pemilihan jenis dan kapasitas *accu* yang sesuai sangat penting agar sistem dapat bekerja dengan baik. *Accu* dapat dilihat pada Gambar 12.

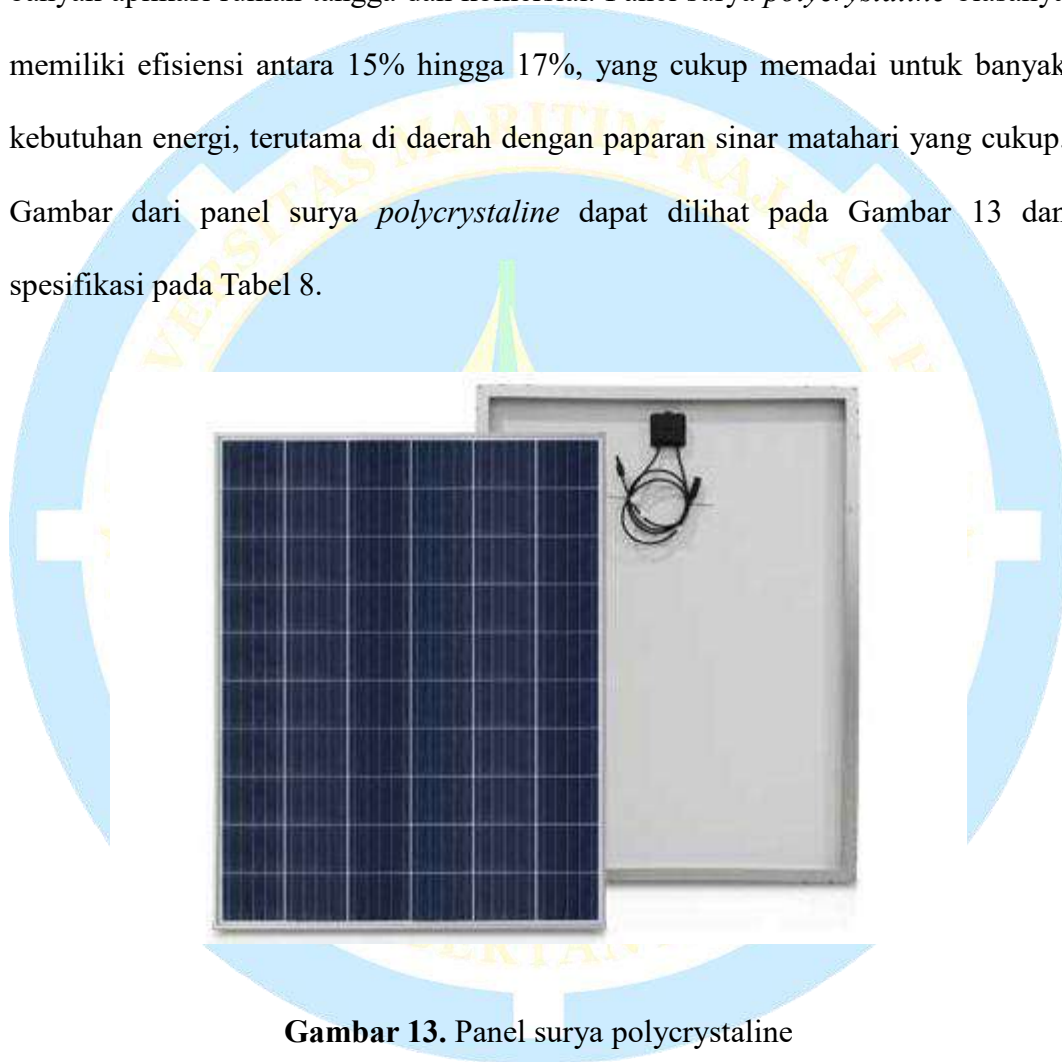


Gambar 12. *Accu*

10. Panel Surya

Panel surya *polycrystalline* merupakan salah satu jenis panel surya yang umum digunakan dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya. Panel ini terbuat

dari banyak kristal silikon yang dilebur bersama, menciptakan struktur yang lebih heterogen dibandingkan panel *monocrystalline* yang memiliki kristal tunggal. Salah satu keunggulan utama dari panel surya *polycrystalline* adalah biaya produksinya yang lebih rendah, sehingga menjadikannya pilihan yang lebih ekonomis bagi banyak aplikasi rumah tangga dan komersial. Panel surya *polycrystalline* biasanya memiliki efisiensi antara 15% hingga 17%, yang cukup memadai untuk banyak kebutuhan energi, terutama di daerah dengan paparan sinar matahari yang cukup. Gambar dari panel surya *polycrystalline* dapat dilihat pada Gambar 13 dan spesifikasi pada Tabel 8.



Gambar 13. Panel surya polycrystalline

Tabel 8. Spesifikasi panel surya

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Max. Power (Pmax)	50W
2	Open Circuit Voltage (Voc)	21.6 VDC
3	Short Circuit Ampere (Isc)	3.22 A
4	Voltage Max. Power (Vmp)	17.5 VDC
5	Current Max. Power (Imp)	2.86 A
6	Max System Voltage (V)	100 VDC