

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian Saiful Bahroni pada tahun 2020 dengan judul “*Monitoring Solar Cell Tracking System Jarak Jauh*“. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kebutuhan akan pemantauan kinerja sel surya sebagai langkah penting dalam mengevaluasi performa sel surya dalam kondisi lingkungan yang sesungguhnya. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi secara langsung dan *real time* mengenai parameter arus dan tegangan yang dipantau melalui aplikasi Android. Pentingnya penyerapan sinar matahari oleh sel surya menjadi fokus utama, dengan tujuan untuk mencapai efisiensi maksimal dalam pengisian baterai. Oleh karena itu, diperlukan sistem pelacakan (*tracking system*) pada sel surya untuk mengikuti pergerakan sinar matahari. Pada penelitian ini digunakan sensor ACS712 dengan tujuan pengujian arus pada alat dan mendapatkan selisih rata-rata arus. Aplikasi Android yang dikembangkan untuk memonitor parameter arus dan tegangan menggunakan MIT APP *Inventor*. Proses pemantauan pada aplikasi Android menggunakan NodeMCU ESP8266 untuk mentransmisikan dan menerima data melalui jaringan wifi. Hal ini memungkinkan pemantauan hasil pengukuran dari sensor arus dan tegangan secara langsung, dan memberikan kemampuan untuk mengontrol *relay* melalui aplikasi Android dari jarak jauh, sesuai dengan kekuatan sinyal jaringan wifi [6].

Peleitian Mohammad Rizki pada tahun 2020 dengan judul ” Analisis Trafik Data Pada Sistem Pemantau Arus Listrik Panel Hubung Bagi“. Penelitian ini membahas mengenai implementasi IoT pada perangkat elektronika bidang kelistrikan. Dilakukan pemantauan dengan menggunakan sensor arus yang kemudian diolah pada *microcontroller*. Sensor arus digunakan untuk mengukur besaran arus listrik yang dipakai oleh beban kemudian mikrokontroler bertugas untuk mengirimkan data hasil pengukuran ke *database* yang telah disiapkan dan data dari hasil uji dianalisis menggunakan Wireshark untuk mengetahui *delay*, *throughput* dan *packet loss*. Pengiriman data dilakukan agar informasi konsumsi energi listrik dapat terus dipantau dan direkam dengan akurat dan dengan dilakukan

uji pada QoS berupa *delay*, *throughput* dan *packetloss* memastikan pengiriman data *realtime* dan akurat [7].

Penelitian Fadhli Pahala pada tahun 2021 dengan judul “Analisa *Traffic Data Esp8266* Pada Kontrol Dan Monitoring Daya Listrik Menggunakan Aplikasi *Blynk* Berbasis *Arduino Nano*”. Penelitian ini membahas mengenai efisiensi penggunaan Android atau *smartphone* sebagai perangkat pintar yang tidak hanya berfungsi sebagai alat komunikasi. Dalam penelitian ini dilakukan rekayasa *traffic* paket data dengan menggunakan modul Wifi ESP8266 pada jaringan perangkat *Internet of Things* (IoT) untuk mengevaluasi kecepatan waktu penerimaan paket data menggunakan Wifi dalam kontrol dan pemantauan daya listrik rumah berdasarkan *Time-Period Hybrid Optical Network* (TIPHON). Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa penggunaan jaringan 4G LTE menunjukkan waktu eksekusi yang lebih cepat dibandingkan dengan 3G, dengan pengukuran parameter *Quality of Service* (QoS) menunjukkan rata-rata besar paket yang dikirim hanya sekitar 560 bit (*Uplink*) dan 430 bit (*Downlink*). Meskipun *throughput* yang terbaca relatif kecil, yakni rata-rata 2.9 kbps (*Uplink*) dan 2.2 kbps (*Downlink*), hasil ini menunjukkan bahwa tidak ada kehilangan paket data saat pengiriman data dilakukan. Penelitian ini memberikan gambaran tentang penggunaan jaringan Wifi dalam mendukung efisiensi kontrol dan pemantauan daya listrik rumah melalui perangkat IoT. Dari hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah *delay* rata-rata sebesar 43,65ms, packet loss 0%, jitter 0,02ms dan *throughput* 2.2722kbps yang dapat dikategorikan bagus menurut standar TIPHON [8].

Pada penelitian Inayatul Inayah tahun 2022 dengan judul “*Realtime Monitoring System of Solar Panel Performance Based on Internet of Things Using Blynk Application*”. Penelitian ini bertujuan memberikan solusi dari keterbatasan dalam pemantauan panel surya yang masih dilakukan secara manual, dengan mengimplementasikan IoT dapat dilakukan pemantauan atau monitoring secara *real-time*. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan solusi dengan merancang sistem pemantauan panel surya berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan NodeMCU ESP32 dilengkapi dengan sensor arus, sensor tegangan dan aplikasi *Blynk* pada *smartphone*. Uji coba menunjukkan tingkat *error* yang rendah, dengan persentase *error* sekitar 0,59% untuk tegangan, 0,0001% untuk arus, 1,03% untuk

daya, dan 2,09% untuk suhu. Penerapan sistem ini, yang memungkinkan akses dan pemantauan langsung melalui *smartphone* tanpa kehadiran fisik, diharapkan dapat memitigasi risiko kerusakan dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi surya di Indonesia, membuka jalan untuk pemantauan yang lebih efektif dan berkelanjutan dalam menghadapi tuntutan energi yang terus berkembang [9].

Pada penelitian Adi Octa Pradana pada tahun 2023 dengan judul “Pemanfaatan Solar Tracker Dual Axis Berbasis IoT Pada Fotovoltaik Polikristalin”. Penelitian ini menggunakan panel polikristalin yang dikenal efektif dalam menangkap cahaya *difus* dan *specular* dengan biaya yang rendah, panel yang digunakan memiliki daya 10W. Daya dari panel surya digunakan untuk memasok beban 5VDC, menggunakan IoT sebagai *microcontroller* yang dipantau melalui *platform Blynk* [10].

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

Penulis	Judul	Tahun	Metode
Saiful Bahroni	<i>Monitoring Solar Cell Tracking System Jarak Jauh</i>	2020	Menggunakan parameter pengukuran berupa arus dan tegangan. Data sensor diproses menggunakan Node MCU ESP8266 dipantau melalui aplikasi android menggunakan MIT APP <i>Inventor</i> .
Mohammad Rizki	Analisis Trafik Data Pada Sistem Pemantauan Arus Listrik Panel Hubung Bagi	2020	Melakukan analisa terhadap trafik data dari perangkat arduino dan <i>database</i> , untuk mengetahui <i>delay data</i> , <i>throughput</i> dan <i>packet loss</i> dengan menggunakan Wireshark.

Penulis	Judul	Tahun	Metode
Fadhli Pahala	<i>Analisa Traffic Data Esp8266 Pada Kontrol Dan Monitoring Daya Lisrik Menggunakan Aplikasi Blynk Berbasis Arduino Nano</i>	2021	Menggunakan Arduino <i>Nano</i> untuk mengevaluasi QoS data modul Wifi ESP8266 menggunakan Wifi berdasarkan TIPHON.
Inayatul Inayah	<i>Realtime Monitoring System of Solar Panel Performance Based on Internet of Things Using Blynk Application</i>	2022	Menggunakan NodeMCU ESP32 dilengkapi dengan sensor arus, sensor tegangan dan aplikasi <i>Blynk</i> .
Adi Octa Pradana	<i>Pemanfaatan Solar Tracker Dual Axis Berbasis IoT Pada Fotovoltaik Polikristalin</i>	2023	Menggunakan panel surya polikristalin 10W berbasis IoT dan membahas mengenai fotovoltaik. Menggunakan <i>platform Blynk</i>

Pada Tabel 2.1 disajikan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini, mencakup berbagai sumber literatur. Penelitian terdahulu ini bertujuan untuk menjelaskan perkembangan penelitian sebelumnya dan mendalami konsep-konsep dasar bagi penelitian yang dilakukan.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1. Sel Surya

Solar cell adalah perangkat yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan efek fotovoltaik. *Solar cell* terdiri dari bahan semikonduktor, seperti silikon, yang dapat menyerap foton dan melepaskan elektron. Elektron yang terlepas selanjutnya dikumpulkan oleh elektroda dan menghasilkan aliran listrik searah (DC) [11]. Prinsip kerja *solar cell* didasarkan pada pembentukan persambungan p-n antara dua lapisan semikonduktor yang memiliki jenis doping yang berbeda. Lapisan p memiliki kelebihan lubang (positif)

dan lapisan n memiliki kelebihan elektron (negatif). Ketika cahaya matahari mengenai persambungan p-n, foton dengan energi lebih besar dari celah pita semikonduktor dapat membebaskan elektron dari ikatan atom dan menciptakan pasangan elektron-lubang. Elektron dan lubang yang tercipta kemudian bergerak ke arah yang berlawanan karena adanya medan listrik internal di persambungan p-n. Elektron bergerak menuju elektroda negatif, sementara lubang bergerak menuju elektroda positif. Hal ini menghasilkan terjadinya perbedaan potensial dan aliran arus listrik [12].



Gambar 2. 1 Sel Surya

Pada gambar 2.1 merupakan tampilan dari sel surya. Bahan, struktur, dan fabrikasi *solar cell* beragam tergantung pada jenis dan efisiensi yang diinginkan. *Solar cell* konvensional umumnya menggunakan silikon kristalin sebagai bahan utama, baik monokristalin maupun polikristalin. *Solar cell* silikon memiliki efisiensi sekitar 20-25% dan biaya produksi yang relatif tinggi. *Solar cell* tipis (*thin film*) menggunakan lapisan semikonduktor yang sangat tipis, seperti tembaga indium galium selenida (CIGS), kadmium telurida (CdTe), atau amorf silikon (a-Si). *Solar cell* tipis memiliki efisiensi sekitar 10-15% dan biaya produksi yang lebih rendah. *Solar cell* organik menggunakan bahan polimer yang dapat menghantarkan listrik, seperti sel surya plastik. *Solar cell* organik memiliki efisiensi sekitar 5-10% dan biaya produksi yang sangat rendah. *Solar cell* multijunction menggunakan beberapa lapisan semikonduktor yang sensitif terhadap panjang gelombang cahaya yang berbeda, sehingga dapat menyerap lebih banyak foton. *Solar cell*

multijunction mencapai tingkat efisiensi sekitar 30-40% dengan biaya produksi yang sangat tinggi, mencapai angka sekitar 34 [13].

Tabel 2. 2 Spesifikasi panel surya yang digunakan.

Parameter		Kondisi
<i>Maximum power</i>	Pmax	20W
<i>Maximum Power Voltage</i>	Vmp	18.5V
<i>Open Circuit Voltage</i>	Imp	1.89A
<i>Short Circuit Voltage</i>	Voc	22.14V
<i>Short Circuit Current</i>	Isc	1.16A
<i>Nominal Operating Cell Temp</i>	NOCT	48 ± 2°C
<i>Maximum System Voltage</i>		715VDC
<i>Maximum Series Fuse</i>		18A
<i>Weight</i>		2.3kg
<i>Dimension</i>		520 × 360 × 17mm

Pada Tabel 2.2 merupakan spesifikasi dari sel surya yang akan digunakan, yaitu sel surya 20wp atau 20 watt *Power*. Perangkat yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan efek fotovoltaik.

2.2.2. Fotovoltaik

Sel fotovoltaik beroperasi berdasarkan prinsip efek fotoelektrik pada material semikonduktor, yang mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Dalam teori Maxwell tentang radiasi elektromagnetik, cahaya dianggap sebagai spektrum gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang beragam. Prinsip kerja sel fotovoltaik mirip dengan dioda dalam bentuk *pn-junction*. *Pn-junction* yang terdiri dari lapisan semikonduktor jenis p dan n yang terbentuk melalui proses doping pada silikon murni. Pada lapisan semikonduktor jenis p, terdapat *hole* (pembawa muatan positif) yang jumlahnya lebih besar daripada jumlah elektron, sehingga *hole* merupakan pembawa muatan mayoritas, sedangkan elektron menjadi pembawa muatan minoritas. Hal yang sama berlaku untuk semikonduktor jenis n dengan pembawa muatan mayoritas adalah elektron. Ketika bagian p dari *pn-junction* dihubungkan dengan kutub positif baterai dan bagian n dihubungkan dengan kutub negatif, arus dapat mengalir melewati *pn-junction*,

disebut sebagai panjar maju. Saat panjar mundur dilakukan dengan menghubungkan bagian n dengan kutub positif dan bagian p dengan kutub negatif, arus tidak dapat mengalir melewati pn-junction. Namun, masih ada arus kecil yang mengalir, disebut arus bocor, dengan ukuran dalam mikroamper [14].

2.2.3. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah komputasi yang menggunakan infrastruktur jaringan internet untuk mengirimkan informasi tanpa interaksi manusia ke manusia atau manusia ke komputer secara langsung. Dengan IoT, pekerjaan manusia dapat dilakukan dari jarak jauh secara *real-time*, tanpa perlu interaksi langsung. Pada prinsipnya adalah dapat dimulai dengan membangun koneksi atau komunikasi antara mesin dengan mesin, sehingga mesin tersebut dapat berinteraksi dan bertindak secara mandiri sesuai dengan data yang diterimanya, yang kemudian dapat diproses secara mandiri. Sistem *Internet of Things* dapat menjadi lebih kompleks dengan sejumlah besar perangkat yang dapat dihubungkan bersama untuk menciptakan layanan yang mendukung proses yang lebih kompleks. *Internet of Things* dapat digambarkan sebagai jaringan yang dapat mengonfigurasi sendiri dan adaptif, sehingga membentuk jaringan kompleks yang menghubungkan berbagai perangkat ke internet melalui protokol komunikasi standar [15].

Arsitektur IoT atau konsep dari IoT sendiri yaitu cara perangkat IoT terhubung, berkomunikasi dan bekerja sama untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Arsitektur IoT dibangun dari tiga lapisan utama yaitu lapisan perangkat (*things*), lapisan jaringan (*network*) dan lapisan *platform*.

1. Lapisan Perangkat

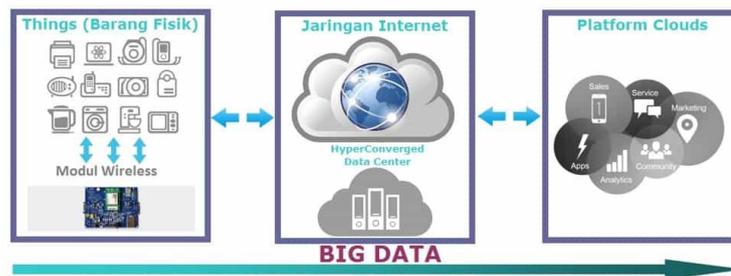
Lapisan pertama berkaitan dengan komponen fisik arsitektur. Beberapa contohnya adalah sensor dan aktuator. Tujuannya untuk mempresentasikan dan mengidentifikasi sebuah obyek. Selain itu juga berfungsi untuk mengumpulkan berbagai jenis informasi yang dibutuhkan dalam proyek.

2. Lapisan Jaringan

Lapisan jaringan berguna terdiri dari jaringan perangkat dan teknologi yang digunakan untuk komunikasi. Protokol yang biasa digunakan yaitu WiFi, *Bluetooth*, Zigbee dan LoRaWAN. Lapisan ini bertanggung jawab untuk menghubungkan ke perangkat jaringan atau *server*.

3. Lapisan *Platform*

Lapisan *Platform* adalah kombinasi dari teknologi IoT dan peralatan industri yang bertujuan untuk menjadikan sistem lebih cerdas. Lapisan aplikasi berisi semua infrastruktur dan peralatan yang digunakan industri yang berhubungan dengan proses pemantauan dan berbasis IoT. Lapisan ini bertanggung jawab untuk memberikan layanan ke *user*. Lapisan ini merupakan lapisan terakhir dan mewakili wujud nyata yang dapat dilihat dengan mudah oleh pengguna [16].



Gambar 2. 2 Konsep *Internet of Things* [17].

Gambar 2.2 menunjukkan konsep *Internet of Things* meliputi tiga unsur utama, yaitu benda fisik atau nyata yang terintegrasi dalam modul sensor, koneksi internet dan pusat data *server* untuk menyimpan data atau informasi dari aplikasi. Melalui penggunaan objek yang terhubung ke internet akan menghimpun data yang kemudian dikumpulkan sebagai "*Big Data*" untuk kemudian diolah, dianalisa dan digunakan untuk kepentingan masing-masing [17].

Pengoperasian *Internet of Things* adalah dengan menggunakan argumen pemrograman dimana setiap argumen perintah menyebabkan interaksi antar mesin yang terhubung secara otomatis tanpa campur tangan manusia dan pada jarak berapapun. Maka dari itu internetlah yang menjadi penghubung interaksi kedua mesin tersebut, sedangkan manusia hanya berperan langsung sebagai pengelola dan memantau pengoperasian perangkat tersebut.

Misalnya pada sistem cctv di pinggir jalan terhubung ke internet dan disatukan di ruang kontrol yang jaraknya bisa puluhan kilometer. Atau *smart home* yang dapat dikontrol melalui *smartphone* yang mendukung internet. Pada dasarnya perangkat IoT terdiri dari sensor sebagai alat pengumpul data, koneksi internet sebagai media komunikasi dan *server* sebagai pengumpul data yang didapat dari sensor dan menganalisanya [18].

2.2.4. Sensor Arus ACS712

Sensor ACS712 adalah sensor penginderaan arus, sensor ACS712 ini tersedia varian 5A, 20A dan 30A tergantung arus maksimum. ACS712 ini menggunakan VCC 5V. Cara kerja sensor ini adalah arus pembacaan mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat di dalamnya yang menghasilkan medan magnet yang dirasakan oleh IC Hall terintegrasi dan diubah menjadi tegangan proporsional. Akurasi pembacaan sensor dioptimalkan dengan memasang komponen yang ada di dalamnya antara penghantar yang menghasilkan medan magnet dengan hall transduser secara berdekatan. Tegangan yang lebih rendah secara proporsional akan menstabilkan IC Bi-CMOS Hall IC yang didalamnya telah dibuat untuk sensor arus [19].

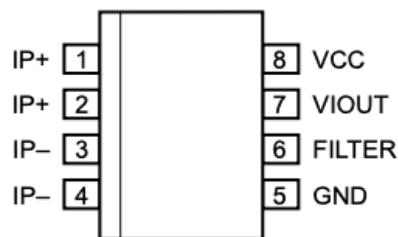
Sensor arus ACS712 merupakan komponen yang digunakan untuk mendeteksi arus pada kawat atau kabel pada instalasi listrik. Sensor ini dapat digunakan untuk mengukur arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC) sesuai dengan prinsip efek *Hall effect*. Sensor dengan prinsip *Hall* dirancang untuk mendeteksi objek *magnetic* dengan perubahan posisi. Perubahan terus menerus yang terjadi pada medan magnet menghasilkan pulsa yang dapat diambil frekuensinya. Sensor ACS712 menghasilkan 2,5 volt saat tidak diberi daya, Gambar 2.3 menunjukkan bentuk fisik sensor ACS712. Sensor ACS712 dikemas dimana berfungsi sebagai sensor arus dan menggantikan trafo arus yang relatif besar. Pada prinsipnya, ACS712 mirip dengan sensor *Hall Effect* yaitu menggunakan medan magnet di sekitar arus, yang diubah menjadi tegangan linier seiring perubahan arus. Nilai variabel sensor ini di-*input* ke mikrokontroler kemudian diolah. Sedangkan *output* dari sensor ini masih berupa sinyal tegangan AC, sehingga dapat diproses oleh mikrokontroler [20].

Sensor arus ACS712 mempunyai fungsi transfer berupa korelasi antara nilai besaran fisis yang diukur oleh sensor dengan nilai *Analog to Digital Converter* (ADC) yang dibaca oleh mikrokontroler yang digunakan. Nilai ADC yang diukur kemudian diubah menjadi nilai arus menggunakan rumus perbandingan antara nilai arus sebenarnya dengan keluaran ADC dari sensor. Kalibrasi yang tepat juga menjadi salah satu hal penting untuk memastikan hasil atau akurasi pada hasil dari sensor ACS712



Gambar 2. 3 Sensor arus ACS712 [21].

Gambar 2.3 merupakan tampilan dari sensor arus ACS712. Pemasangan sensor arus ACS712 dilakukan secara seri melalui kabel atau kawat yang digunakan untuk menyalurkan arus dari catu daya ke beban. *Input* sensor ini menggunakan dua pasang terminal arus dengan arus bolak-balik maksimal 5A dan arus searah (DC). Tegangan operasi sensor arus ACS712 adalah 4,5 VDC hingga 5,5 VDC [22]. Berikut deskripsi pin sensor arus ACS712 yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Pin-out Diagram [23].

Gambar 2.4 merupakan diagram *pin-out* ACS712. ACS712 menggunakan prinsip *Hall Effect* untuk mengukur arus. Sensor ini memiliki elemen sensor *Hall* di dalamnya, dimana prinsip *Hall effect* yaitu berdasarkan pada efek yang terjadi ketika arus listrik mengalir melalui konduktor dan menciptakan medan magnet sepanjang konduktor tersebut. Kemudian bagian konduktor (*trace*) yang dilewatkan oleh arus yang akan diukur. Arus listrik akan mengalir melalui konduktor ini dan medan magnet yang dihasilkan oleh arus ini akan mempengaruhi elemen *Hall*. Ketika arus mengalir melalui konduktor, elemen *Hall* yang terletak di dekatnya akan mengalami perubahan tegangan *Hall*. Tegangan *Hall* sendiri adalah tegangan listrik yang terjadi secara tegak lurus terhadap arah arus dan medan magnet. Selanjutnya sensor ACS712 memberikan *output* berupa tegangan analog yang

proporsional terhadap arus yang mengalir melalui konduktor. Perubahan tegangan *Hall* yang terjadi diubah menjadi sinyal tegangan analog yang dapat diukur.

Tabel 2. 3 Terminal List

No	Nama	Deskripsi
1 and 2	IP +	<i>Terminals for current being sensed; fused internally</i>
3 and 4	IP -	<i>Terminals for current being sensed; fused internally</i>
5	GND	<i>Signal ground terminal</i>
6	FILTER	<i>Terminal for external capacitor that sets bandwidth</i>
7	VIOUT	<i>Analog output signal</i>
8	VCC	<i>Device power supply terminal</i>

Pada tabel 2.3 merupakan list dari terminal yang digunakan pada sensor ACS712. Terdapat 8 pin terminal yang digunakan pada ACS712 seperti yang tertera pada tabel, dengan pada terminal 1 dan 2 memiliki fungsi yang sama, pada terminal 3 dan 4 juga memiliki fungsi yang sama. Nilai sensitivitas sensor ACS712 dinyatakan dalam satuan mV/A. Dengan mengetahui nilai sensitivitas ini, nilai tegangan dapat dikonversi menjadi besaran arus yang sesuai. Pin VCC berfungsi untuk menyediakan tegangan untuk mensuplai sensor. Tegangan VCC atau tegangan kerja pada sensor ACS712 dapat beroperasi pada tegangan antara 4,5 V hingga 5,5 V. Pin OUT berfungsi memberikan *output* tegangan analog yang berkorelasi dengan arus yang diukur. Tegangan pada pin OUT akan bervariasi tergantung besar arus yang mengalir melalui sensor. Pin *Ground* (GND) berfungsi untuk menyediakan koneksi ke *ground*. Pin Filter merupakan optional untuk membantu dalam meredam *noise* atau interferensi pada sinyal keluaran, namun penggunaan pin Filter ini hanya optional.

Tabel 2. 4 Karakteristik operasi

Parameter	Kondisi	Keterangan
<i>Supply Voltage</i> (VCC)	4.5 – 5.5V	Tegangan suplai
<i>Supply Current</i> (ICC)	6 – 11 mA	Konsumsi arus pada output dalam keadaan terbuka (<i>open</i>) dengan tegangan suplai 5.0 V
<i>Output Zener Clamp Voltage</i> (VZ)	6 V - 8.3 V	Tegangan klem Zener pada <i>output</i> , diukur ketika arus pasokan adalah 11 mA dan suhu sekitar 25°C.
<i>Output Resistance</i> (R _{out})	1 Ω - 2 Ω.	Resistansi pada <i>output</i> , diukur ketika arus <i>output</i> adalah 1.2 mA dan suhu sekitar 25°C.
<i>Output Capacitance Load</i> (C _{Load})	10 nF	Kapasitansi pada beban <i>output</i> ketika tegangan <i>output</i> ke <i>ground</i> (GND)
<i>Output Resistive Load</i> (R _{Load})	1 kΩ	Beban resistif pada <i>output</i> , diukur ketika tegangan <i>output</i> ke <i>ground</i> adalah 4.7 V. R
<i>Primary Conductor Resistance</i> (R _{Primary})	1.2 mΩ	Resistansi konduktor primer pada suhu sekitar 25°C.

Pada tabel 2.4 merupakan tabel karakter operasi ACS712 yang merupakan sensor arus hall effect yang digunakan untuk mengukur arus AC dan DC. Sensor ini memiliki kemampuan untuk mendeteksi arus hingga 20A dengan ketelitian yang tinggi. Karakteristik operasi utama dari ACS712 mencakup rentang pengukuran arus yang luas, sensitivitas yang tinggi, serta respons linier terhadap perubahan

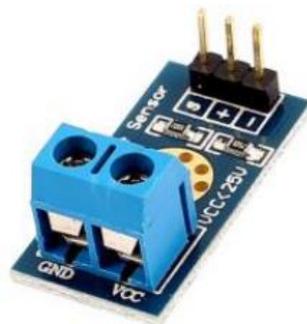
arus. Sensor ini menghasilkan tegangan keluaran analog yang sebanding dengan arus yang melewatinya, yang kemudian dapat diukur oleh mikrokontroler seperti NodeMCU ESP32. ACS712 juga dilengkapi dengan isolasi galvanis, yang memungkinkan pemisahan listrik antara sirkuit pengukuran dan sirkuit utama, sehingga meningkatkan keamanan dan integritas sinyal. Selain itu, sensor ini dirancang untuk mudah diintegrasikan dalam berbagai aplikasi elektronik, terutama dalam sistem monitoring energi dan proteksi sirkuit.

2.2.5. Sensor Tegangan FZ0430

Sensor tegangan berfungsi untuk mengukur jumlah tegangan yang ada pada rangkaian atau perangkat elektronik. Sensor tegangan biasanya terdiri dari beberapa komponen utama, seperti resistansi dan penguat sinyal. Tipe sensor tegangan yang paling umum yang digunakan adalah resistif tegangan atau divider tegangan.

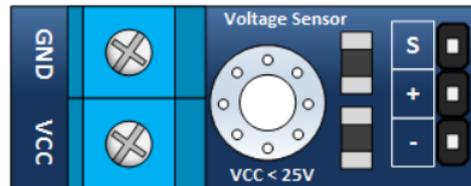
Pada sensor tegangan digunakan resistor pembagi tegangan, juga dikenal sebagai resistor pembagi tegangan, sensor tegangan resistif mengubah tegangan menjadi rentang tegangan yang dapat diukur oleh mikrokontroler. Resistor pembagi tegangan dibuat dengan menghubungkan dua resistor, dan tegangan diukur pada titik tengah resistor. Mikrokontroler kemudian dapat membaca tegangan yang diukur pada titik tengah resistor untuk mengetahui seberapa besar tegangan pada sumber daya atau perangkat tertentu.

Sensor tegangan juga dapat menggunakan penguat operasional, juga dikenal sebagai penguat sinyal, untuk memperkuat sinyal tegangan sebelum diukur oleh mikrokontroler. Sensitivitas sensor ditingkatkan oleh penguat sinyal, yang memungkinkan pengukuran yang lebih akurat pada rentang tegangan yang lebih kecil.



Gambar 2. 5 Sensor tegangan FZ0430 [21].

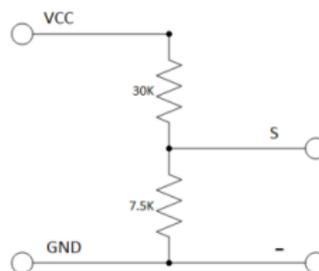
Pada gambar 2.5 merupakan tampilan pada sensor tagangan FZ0430, dengan 5 pin dan 2 resistor. Resistor pembagi tegangan, juga dikenal sebagai resistor pembagi tegangan, sensor tegangan resistif mengubah tegangan menjadi rentang tegangan yang dapat diukur oleh mikrokontroler. Resistor pembagi tegangan dibuat dengan menghubungkan dua resistor, dan tegangan diukur pada titik tengah resistor.



Gambar 2. 6 Pin pada sensor FZ0430 [24].

Gambar 2.6 merupakan tampilan dari pin pada sensor FZ0430. Dengan *input* GND sebagai tempat untuk menghubungkan sisi *ground* dari rangkaian yang akan diukur. Ini adalah titik listrik yang sama dengan ground mikrokontroler. Dan VCC sebagai tempat menghubungkan sisi tegangan tinggi yang akan diukur.

Dengan *pin output* Pin S menunjukkan koneksi ke *input* analog mikrokontroler, pin minus (-) menunjukkan koneksi ke *ground* mikrokontroler dan pin plus (+) menunjukkan koneksi yang tidak ada.



Gambar 2. 7 Rangkaian skematik sensor FZ0430 [24].

Pada Gambar 2.7 merupakan rangkaian skematik dari sensor FZ0430. Sensor tegangan FZ0430 menggunakan pembagi tegangan dengan 30 resistor. kOhm dan 7,5 kOhm, yang mengukur tegangan hingga 25 V pada arus searah [25].

2.2.6. ESP32

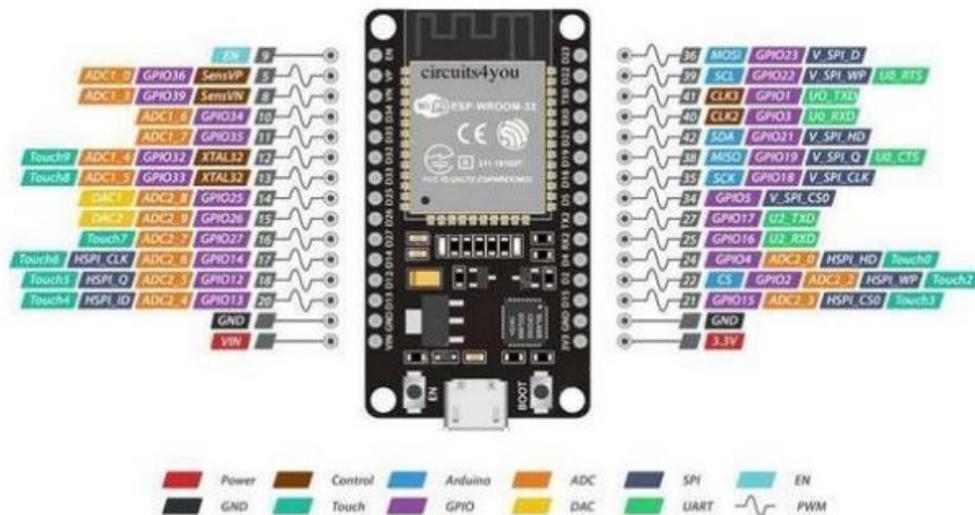
ESP32 adalah mikrokontroler yang dikembangkan oleh *Espressif Systems*. Mikrokontroler ini adalah penerus dari ESP8266. ESP32 menawarkan banyak fitur yang lebih handal dan lebih banyak sumber daya dibandingkan ESP8266 menjadikannya pertimbangan untuk penggunaan proyek *Internet of Things* (IoT)

dan pengembangan perangkat yang terhubung. *Espressif system* telah mengembangkan mikrokontroler ESP32 dengan modul WiFi dan *Bluetooth* untuk mendukung sistem berbasis IoT dalam melakukan tugas operasional.



Gambar 2. 8 Mikrokontroler ESP32

Gambar 2.8 merupakan mikrokontroler ESP32 dengan modul WiFi dan *Bluetooth* untuk membantu melakukan tugas operasional untuk sistem berbasis IoT. Pada dasarnya, ESP32 adalah saklar antenna terintegrasi yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan perangkat seluler dan berbasis IoT. ESP32 relatif ekonomis dalam konsumsi daya dan mencakup opsi penghematan daya bawaan [26].



Gambar 2. 9 Konfigurasi Pin ESP32

Pada gambar 2.9 adalah tampilan konfigurasi pin pada mikrokontroler ESP32 yang merupakan mikrokontroler *System on Chip* (SoC) terintegrasi dengan WiFi 802.11 b/g/n, *Bluetooth* versi 4.2 dan berbagai peripheral. ESP32 adalah *chip* yang sangat lengkap dengan akses ke prosesor, memori dan GPIO [27]. Spesifikasi ESP32 ditunjukkan pada tabel 2.3

Tabel 2. 5 Spesifikasi Mikrokontroler ESP32

Atribut	Detail
CPU	Xtensa <i>Dual-Core</i> (atau <i>single-core</i>) 32bit LX6 <i>microprocessor</i> di 160/240Mhz
SRAM	520KB
<i>FLASH</i>	2MB (<i>max.</i> 64MB)
Tegangan	2.2V sampai 3.6V
Arus Kerja	Rata-rata 80mA
Konektivitas	
Wi-Fi	802.11 b/g/n
<i>Bluetooth</i>	4.2BR/EDR+BLE
UART	3
I/O	
GPIO	32
SPI	4
I2C	2
PWM	8
ADC	18 (12-bit)
DAC	2 (8-bit)

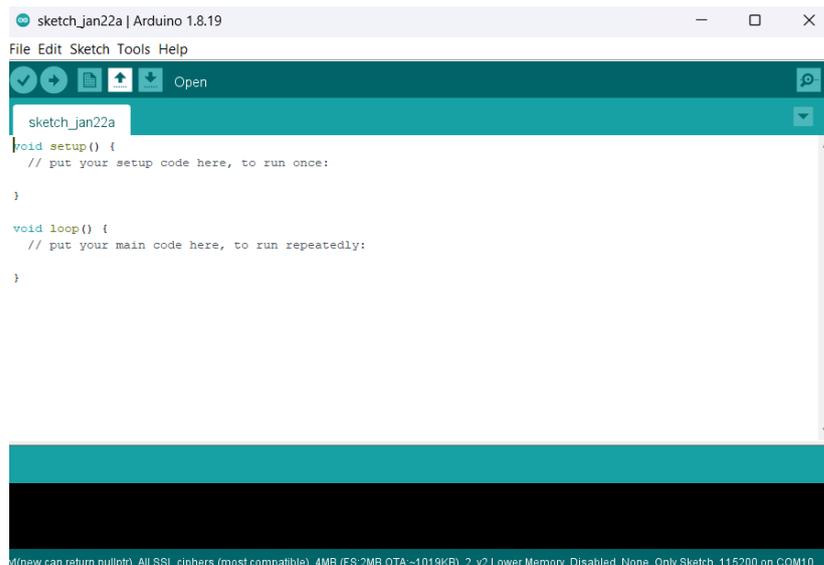
Pada Tabel 2.5 merupakan spesifikasi mikrokontroler ESP32, berikut penjelasan umum mengenai beberapa pin ESP32 :

1. Pin 3V3 berfungsi untuk memberikan tegangan daya 3.3V untuk modul ESP32.
2. Pin GND berfungsi untuk menghubungkan ke GND.
3. Pin GPIO diatur untuk berbagai fungsi, termasuk sebagai input atau output digital.
4. Pin ADC digunakan sebagai *input* ADC untuk membaca nilai analog dari sensor atau tegangan referensi analog.
5. Pin Komunikasi Serial digunakan untuk komunikasi *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter* (UART).
6. Pin *Serial Peripheral Interface* (SPI) digunakan untuk komunikasi SPI dengan perangkat eksternal seperti sensor, layer dan modul memori.
7. Pin I2C digunakan untuk mentransfer data audio digital ke dan dari perangkat audio eksternal.
8. PWM termasuk pin GPIO yang berfungsi untuk mengontrol intensitas cahaya lampu atau kecepatan motor.
9. LED Indikator termasuk di dalam pin GPIO yang digunakan sebagai indicator.
10. RTC termasuk di dalam pin GPIO untuk berbagai fungsi [28].

2.2.7. Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) atau sederhananya lingkungan terintegrasi untuk pengembangan. Dikatakan sebagai lingkungan karena melalui *software* Arduino IDE dilakukan pemrograman untuk menjalankan fungsi-fungsi melalui sintaks pemrograman. Sehingga Arduino IDE merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menulis program, mengkompilasinya menjadi *file* biner dan memuatnya ke dalam mikrokontroler. *Software* ini bisa berjalan pada *Windows*, *Mac OS X* dan *Linux* [29]. Melalui *software* ini memungkinkan Arduino atau mikrokontroler lain untuk menjalankan fungsi menggunakan pemrograman. *Software* Arduino IDE ini menggunakan bahasa pemrogramannya sendiri yang menyerupai bahasa C. Arduino IDE ditulis dalam teks editor, program yang ditulis disebut *sketch* dan disimpan dalam bentuk ekstensi *.ino*. NodeMCU ESP8266 memiliki *boatloader* yang sama dengan Arduino, yang bertindak sebagai kompiler, membuatnya kompatibel saat membangun dan mengunggah program untuk NodeMCU ESP8266. Adapun *software* Arduino IDE terdiri dari :

1. Editor Program, *window* yang berfungsi untuk menulis dan mengedit program.
2. *Verify*, sebelumnya dikenal dengan *Compile*, berfungsi untuk memverifikasi *sketch* yang dibuat.
3. *Upload*, berfungsi mengupload *sketch* ke board mikrokontroler [29].



Gambar 2. 10 Tampilan Arduino IDE

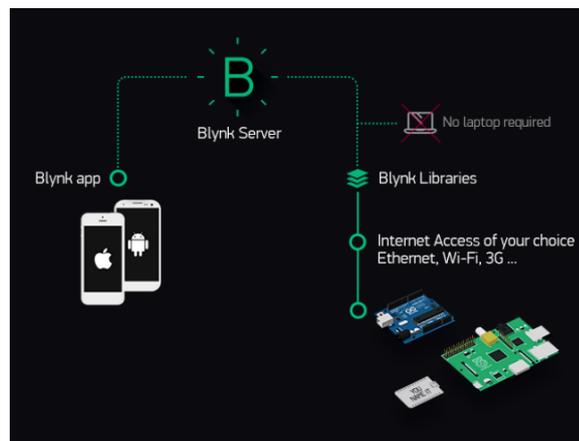
Pada gambar 2.10 merupakan tampilan dari *software* arduino IDE yang digunakan dalam melakukan pemrograman yang dikirimkan ke mikrokontroler.

2.2.8. OLED

OLED (Organic Light Emitting Diode) adalah salah satu media yang sering digunakan untuk menampilkan output pada modul Arduino atau controller lainnya. Modul ini memiliki ukuran fisik 29,28 x 27,1 mm dan menawarkan resolusi 128x64 piksel. Resolusi ini memungkinkan tampilan grafis dan teks dengan kontras piksel yang sangat tajam. Salah satu keunggulan utama OLED adalah kemampuannya untuk menghasilkan cahaya sendiri pada setiap piksel, sehingga tidak memerlukan cahaya backlight seperti pada layar LCD. Hal ini tidak hanya meningkatkan kualitas gambar, terutama dalam kondisi cahaya rendah, tetapi juga membuatnya lebih hemat energi. Konsumsi daya yang rendah menjadikan OLED pilihan ideal untuk perangkat yang bertenaga baterai atau proyek-proyek yang memerlukan efisiensi energi tinggi [30].

2.2.9. Blynk

Blynk adalah *platform* layanan penyedia *server* untuk mendukung *project* IoT. Layanan ini memiliki antar muka *mobile user* yang dijalankan pada Android ataupun iOS. *Blynk* diciptakan dengan tujuan untuk *control* dan monitoring *hardware* secara jarak jauh menggunakan komunikasi data internet ataupun intranet (jaringan LAN). Kemampuan untuk menyimpan data dan menampilkan data secara visual baik menggunakan angka, warna ataupun grafis semakin memudahkan dalam pembuatan *project* dibidang *Internet of Things* [31].



Gambar 2. 11 Komponen utama pada *Blynk*

Pada gambar 2.11 terdapat 3 komponen utama Blynk, dan hubungan antara ketiga komponen. Komponen aplikasi, sever dan komponen mikrokontroler yang terhubung dalam protokol tertentu.

2.2.10. Protokol TCP

Transmission Control Protocol (TCP) sering digunakan dalam pengiriman data dari perangkat seperti ESP32 ke platform seperti Blynk. TCP adalah protokol yang dapat dipercaya, dirancang untuk menyediakan alur data yang andal pada jaringan internet yang seringkali tidak dapat dipercaya. Protokol ini memiliki kemampuan adaptasi terhadap berbagai macam masalah yang mungkin terjadi pada peralatan jaringan. Sebagai protokol yang connection-oriented, TCP memastikan bahwa setiap data yang dikirimkan benar-benar sampai ke tujuan dengan menggunakan mekanisme Automatic Repeat Request (ARQ). ARQ secara otomatis mentransmisikan ulang data yang gagal diterima berdasarkan informasi dari ACK (Acknowledgement) yang tidak diterima oleh pengirim.

Cara kerja TCP dimulai dengan pembentukan koneksi melalui proses yang dikenal sebagai three-way handshake. Proses ini melibatkan pertukaran tiga pesan antara pengirim dan penerima untuk memastikan kedua belah pihak siap untuk berkomunikasi. Pertama, pengirim mengirimkan segmen SYN (synchronize) kepada penerima. Penerima kemudian merespons dengan segmen SYN-ACK (synchronize-acknowledge), yang menunjukkan bahwa ia siap untuk menerima data. Akhirnya, pengirim mengirimkan segmen ACK untuk mengonfirmasi bahwa koneksi telah dibentuk. Setelah koneksi terbentuk, data dikirim dalam bentuk segmen-segmen yang diberi nomor urut. Setiap segmen yang diterima oleh penerima akan diakui (acknowledged) dengan mengirimkan nomor urut berikutnya yang diharapkan. Jika pengirim tidak menerima ACK dalam waktu yang ditentukan, segmen tersebut akan dikirim ulang. Untuk mengendalikan hambatan secara efektif, TCP melakukan estimasi delay dari transmisi round trip time secara akurat. Dengan memanfaatkan informasi balasan dari jaringan, TCP dapat mendeteksi dan menyelesaikan kemacetan jaringan [32].

2.2.11. Analog Digital Converter (ADC)

Sinyal analog adalah sinyal yang berbentuk gelombang elektromagnetik dan bergerak atas dasar frekuensi. Frekuensi adalah jumlah osilasi sinyal analog dalam

satu siklus penuh per detik. Sedangkan sinyal digital merupakan hasil teknologi yang dapat mengubah sinyal menjadi biner. Biasanya sinyal ini disebut juga dengan sinyal diskrit dan memiliki satuan bit.

ADC (*Analog to Digital Converter*) mengubah nilai suatu masukan berupa arus, tegangan atau sinyal analog lainnya menjadi sinyal digital. Mengapa harus diubah karena sebagian besar data atau sinyal adalah besaran analog. Konversi data analog ke digital adalah cara pengolahan data analog sehingga sifat-sifatnya dapat diubah, dimanipulasi dan diubah. Umumnya ADC digunakan sebagai perantara antar sensor yang analog dengan sistem komputer seperti sensor suhu, cahaya, tekanan, aliran dan lainnya yang kemudian diukur dengan sistem digital. Seperti yang diketahui, komputer hanya dapat membaca sinyal diskrit atau biner. Kuantitas analog ini diubah menjadi besaran listrik (nilai tegangan atau nilai arus) oleh transduser sebelum diteruskan ke rangkaian ADC, yang diubah menjadi sinyal digital. Perhitungan tegangan ADC dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.3 [33].

$$ADC = \frac{V_{in} \times 1024}{V_{ref}} \quad (3.1.1)$$

Pada perhitungan 3.1.1 merupakan rumus dari ADC. Sinyal digital yang dihasilkan oleh ADC mempunyai bentuk digital dengan basis 2 yaitu terdiri dari angka 0 dan 1. Representasi ini akan lebih baik karena ADC lebih sensitif terhadap perubahan nilai sinyal analog yang masuk. Jika nilai 0 sampai 15 Volt dapat diubah menjadi digital dengan skala 1 Volt, berarti rentang nilai digital yang diperoleh berbentuk 16 tahap (dari 0 hingga 15). Banyaknya tahapan tersebut dicapai dengan membuat rangkaian ADC 4 bit (bit (n) merepresentasikan 2^n nilai skala sehingga $2^4 = 16$ skala) [34].

Terdapat dua karakteristik utama yang menjadi penentu keakuratan nilai digital yang dihasilkan dalam proses ADC, yaitu sample rate dan resolusi. Sample rate ADC adalah ukuran seberapa sering sinyal analog diubah menjadi bentuk sinyal digital pada interval waktu tertentu. Kecepatan sampling biasanya dinyatakan sebagai sample per second (SPS). Sedangkan resolusi ADC adalah mengubah sinyal analog menjadi bentuk besaran rasio perbandingan dari sinyal input dan tegangan referensi. Resolusi ADC juga untuk menentukan akurasi nilai

konversi ADC. Misalnya jika 1 volt diubah menjadi sinyal digital dengan menggunakan ADC 3 bit menghasilkan 8 tingkatan pembacaan ($2^3 = 8$ dalam biner 111), nilai untuk 1 volt adalah 0,125 volt atau 125 mV setiap tingkatan. Dengan menggunakan ADC dengan bit yang lebih tinggi maka akan mendapatkan hasil sinyal dengan hasil yang lebih presisi. Contoh apabila 1 volt dikonversi menggunakan ADC 8 bit maka setiap tingkatannya akan menjadi 0,125 V atau 125 mV. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi bit ADC yang digunakan maka akan memberikan resolusi yang lebih baik [35].

2.2.12. Resolusi

Resolusi dari suatu pengkonversian menandakan jumlah nilai diskrit yang dapat dihasilkan dari proses pengkonversian, yang biasanya dinyatakan dalam bit. Resolusi ini menunjukkan seberapa banyak tingkat atau langkah yang tersedia untuk mewakili nilai analog dalam bentuk digital. Sebagai contoh, sebuah ADC yang mengkodekan sebuah masukan sinyal analog menjadi 256 nilai diskrit, memiliki resolusi sebesar 8 bit. Ini berarti bahwa ADC dapat membedakan hingga 256 tingkat yang berbeda dari sinyal input analog.

Bit merupakan unit yang menunjukkan jumlah tingkat atau nilai diskrit yang dapat dihasilkan oleh ADC. Semakin tinggi jumlah bit, semakin besar jumlah nilai diskrit yang dapat dihasilkan, dan dengan demikian, semakin tinggi resolusi ADC tersebut. Resolusi yang lebih tinggi memungkinkan ADC untuk lebih akurat merepresentasikan variasi kecil dalam sinyal input analog. Ini sangat penting dalam aplikasi yang memerlukan ketepatan tinggi, seperti dalam pengukuran ilmiah, instrumentasi medis, dan pemrosesan audio atau video. Dengan demikian, pemilihan resolusi yang tepat sangat penting untuk memastikan bahwa ADC dapat memenuhi kebutuhan spesifik dari aplikasi yang dimaksud [36].

2.2.13. DC-DC Stepdown

DC-DC Stepdown merupakan rangkaian elektronika yang berfungsi sebagai penurun tegangan DC ke DC (konverter DC-to-DC) dengan metode switching. Alat ini digunakan untuk mengubah tegangan DC yang lebih tinggi menjadi tegangan DC yang lebih rendah dengan efisiensi tinggi. Ada beberapa jenis DC-DC Stepdown, dan salah satu yang populer adalah DC-DC Stepdown. Modul ini

memiliki spesifikasi dan fitur yang mengesankan, yang membuatnya ideal untuk berbagai aplikasi elektronik.

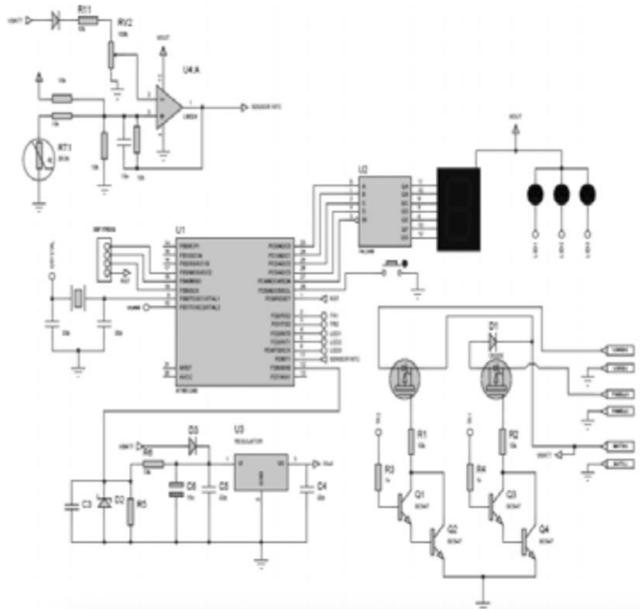
Modul regulator penurun tegangan ini menggunakan bahan solid capacitor dan PCB berkualitas tinggi untuk menjamin kualitas tegangan yang dibutuhkan. Untuk menyesuaikan tegangan, pengguna cukup memutar potensiometer yang ada pada board. Sangat penting untuk memperhatikan tanda input dan output serta polaritas positif dan negatif agar tidak terjadi kesalahan yang dapat merusak modul. Dengan fitur-fitur canggih dan desain yang efisien, DC-DC Stepdown LM2596 adalah pilihan yang sangat baik untuk berbagai aplikasi yang memerlukan penurunan tegangan DC dengan keandalan tinggi [37].

2.2.14. Solar Charge Controller (SCC)

Solar Charge Controller adalah sebagai alat yang berfungsi untuk mengontrol tegangan dan arus yang berasal dari output sel surya sebelum dialirkan ke baterai dan ke beban. Alat ini memainkan peran penting dalam memastikan bahwa energi yang dihasilkan oleh panel surya dapat disimpan dengan efisien dan aman di dalam baterai serta digunakan secara optimal oleh perangkat yang membutuhkan. Proses penyimpanan dan pemakaian energi listrik tersebut diatur menggunakan perangkat yang disebut *Solar Charge Controller*. *Solar Charge Controller* ini bertugas untuk memastikan bahwa energi listrik disimpan dengan efisien di dalam baterai dan kemudian digunakan sesuai kebutuhan.

Pada saat panel surya menerima energi matahari, output dari panel surya tidaklah konstan. Hal ini disebabkan oleh variasi intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel surya sepanjang hari. Dengan demikian, tegangan dan arus keluaran dari sel surya juga tidak stabil dan terus berubah-ubah sesuai dengan perubahan intensitas cahaya matahari tersebut. Ketidakstabilan ini perlu diatur agar tidak merusak baterai atau perangkat lain yang menggunakan energi tersebut. Tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sel surya harus disesuaikan dengan batasan tertentu sebelum dialirkan ke baterai. Baterai memiliki batasan maksimal terhadap tegangan dan arus yang dapat diterimanya untuk memastikan umur pakai yang panjang dan kinerja yang optimal. Di sinilah peran penting *Solar Charge Controller*. Alat ini mengatur dan menstabilkan tegangan serta arus keluaran dari sel surya sehingga sesuai dengan batasan yang dapat diterima oleh baterai.

Dengan menggunakan Solar Charge Controller, energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat disimpan dengan lebih efisien di dalam baterai. Selain itu, alat ini juga melindungi baterai dari potensi kerusakan akibat overcharging atau pengisian berlebihan yang dapat terjadi jika arus dan tegangan yang masuk ke baterai tidak dikontrol dengan baik. Oleh karena itu, Solar Charge Controller merupakan komponen krusial dalam sistem tenaga surya untuk memastikan penyimpanan energi yang aman dan efisien serta penggunaan energi yang optimal.



Gambar 2. 12 Rangkaian Solar Charge Controller [38].

Gambar 2.12 merupakan rangkaian dari *solar charge controller*. *Solar charge controller* memiliki beberapa terminal yang meliputi terminal untuk panel surya, terminal untuk baterai, dan terminal untuk beban. Ketiga terminal tersebut dirancang dengan polaritas yang jelas, yaitu tanda negatif (-) dan tanda positif (+), untuk menghindari kesalahan dalam penyambungan. Dengan adanya tanda polaritas yang jelas ini, pengguna dapat memastikan bahwa sambungan dilakukan dengan benar, sehingga mencegah potensi kerusakan pada sistem akibat kesalahan pemasangan.

Solar Charge Controller berfungsi mengatur tegangan dan arus yang berasal dari panel surya sebelum dialirkan ke baterai. Alat ini secara otomatis akan menghentikan aliran listrik dari panel surya ke baterai apabila baterai sudah penuh. Hal ini dilakukan untuk mencegah *overcharging*, yang dapat merusak baterai dan

mengurangi umur pakainya. Sebaliknya, jika baterai belum penuh, Solar Charge Controller akan terus mengalirkan listrik dari panel surya ke baterai untuk memastikan baterai terisi dengan optimal. Selain itu, *Solar Charge Controller* juga mengatur aliran listrik dari baterai ke beban. Jika kapasitas listrik dalam baterai berkurang hingga mencapai sekitar 20-30%, Solar Charge Controller akan secara otomatis mematikan aliran listrik ke beban. Tindakan ini dilakukan untuk melindungi baterai dari kondisi deep discharge, yang dapat merusak baterai dan mengurangi kinerjanya secara signifikan. Dengan memutus aliran listrik ke beban pada saat kapasitas baterai menurun drastis, Solar Charge Controller membantu mempertahankan kesehatan dan umur panjang baterai [38].

Dengan fungsi-fungsi tersebut, Solar Charge Controller memastikan bahwa sistem tenaga surya bekerja secara efisien dan aman, baik dalam hal penyimpanan energi di baterai maupun dalam penggunaan energi untuk beban. Alat ini merupakan komponen vital dalam sistem tenaga surya, karena mengatur dan mengoptimalkan aliran listrik, serta melindungi komponen-komponen lain dalam sistem dari potensi kerusakan.

2.2.15. Arus listrik

Arus listrik adalah aliran muatan listrik yang mengalir melalui media konduktor dalam tiap satuan waktu. Muatan listrik pada dasarnya dibawa oleh partikel-partikel subatomik yaitu elektron dan proton yang berada di dalam sebuah atom. Proton memiliki muatan positif, sedangkan elektron memiliki muatan negatif. Namun, proton sebagian besar hanya bergerak di dalam inti atom dan tidak berperan dalam aliran arus listrik. Oleh karena itu, tugas untuk membawa muatan listrik dari satu tempat ke tempat lainnya ditangani oleh elektron. Hal ini disebabkan karena elektron dalam bahan konduktor seperti logam sebagian besar bebas bergerak dari satu atom ke atom lainnya.

Dalam bahan konduktor, atom-atomnya memiliki banyak elektron bebas yang dapat bergerak dari satu atom ke atom lainnya dengan arah yang acak atau tidak teratur sehingga tidak mengalir ke satu arah tertentu. Namun, ketika diberikan tegangan pada konduktor tersebut, semua elektron bebas akan bergerak ke arah yang sama, sehingga menciptakan aliran arus listrik yang teratur. Arus listrik dapat kita analogikan sebagai aliran air pada sebuah tangki air. Makin besar tekanan

airnya dan makin kecil hambatan pada pipa (misalnya ukuran pipa yang besar), maka jumlah aliran air juga akan banyak. Demikian juga dengan aliran arus listrik: makin tinggi tegangan yang diberikan dan makin kecil hambatan listrik pada suatu rangkaian, makin besar pula arus listriknya. Tekanan air dapat mewakili tegangan listrik (V), sedangkan hambatan yang kecil (ukuran pipa yang besar) dapat mewakili hambatan listrik (R).

Dalam teori aliran arus listrik, kita mengenal dua teori utama tentang aliran arus listrik, yaitu aliran arus listrik konvensional (conventional current flow) dan aliran elektron (electron flow). Secara konvensional, kita sering menyebutkan bahwa aliran listrik dalam suatu rangkaian elektronika adalah mengalir dari arah positif (+) ke arah negatif (-). Arah aliran arus konvensional ini didasarkan pada prinsip muatan, di mana arus listrik atau current sering didefinisikan sebagai aliran muatan listrik positif pada suatu penghantar dari potensial tinggi ke potensial rendah. Namun, arah aliran arus listrik ini sebenarnya berlawanan dengan prinsip aliran elektron pada suatu penghantar.

Konsep rangkaian dengan aliran arus listrik konvensional digunakan untuk mempermudah pemahaman terhadap arah aliran muatan listrik, yaitu dari positif ke negatif. Arah aliran elektron ini berlawanan dengan arah aliran arus listrik konvensional karena pada dasarnya elektron adalah partikel yang bermuatan negatif dan bergerak bebas yang ditarik ke terminal positif. Dengan demikian, arah aliran listrik pada suatu rangkaian adalah aliran elektron dari kutub negatif baterai (katoda) dan kembali lagi ke kutub positif baterai (anoda). Jadi, arah aliran elektron adalah dari arah negatif (-) ke arah positif (+).

Ada dua jenis arus listrik berdasarkan arah alirannya. Arus listrik yang mengalir satu arah atau pada arah yang sama disebut dengan Arus Searah atau dalam bahasa Inggris disebut dengan Direct Current yang disingkat dengan DC. Contoh sumber arus searah adalah baterai, aki, sel surya, dan pencatu daya (power supply). Sedangkan arus listrik yang mengalir dengan arah yang selalu berubah-ubah disebut dengan Arus Bolak-balik atau dalam bahasa Inggris disebut dengan Alternating Current yang disingkat dengan AC. Bentuk gelombang AC pada umumnya adalah gelombang sinus. Namun, pada aplikasi tertentu juga terdapat bentuk gelombang segitiga dan bentuk gelombang persegi. Contoh sumber arus

bolak-balik adalah listrik PLN dan listrik yang dibangkitkan oleh generator listrik. Selain itu, gelombang audio dan gelombang radio juga merupakan bentuk gelombang AC. Dengan memahami perbedaan antara arus searah dan arus bolak-balik, serta analogi aliran air yang membantu kita memahami konsep dasar arus listrik, kita dapat lebih mudah memahami prinsip-prinsip yang mendasari aliran arus listrik dalam berbagai jenis rangkaian dan aplikasi elektronika [39].

2.2.16. Perhitungan Daya

Daya listrik adalah laju hantaran energi dalam suatu sirkuit listrik, yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu (Joule/detik). Ketika arus listrik mengalir melalui rangkaian dengan hambatan listrik menimbulkan kerja. Daya listrik merupakan jumlah energi yang diserap atau yang dihasilkan dalam suatu rangkaian. Sumber energi seperti tegangan listrik dan arus akan menghasilkan daya listrik pada suatu rangkaian sedangkan beban yang terhubung dengan rangkaian akan menyerap daya listrik tersebut. Persamaan yang digunakan untuk menghitung daya listrik dari sebuah rangkaian listrik DC adalah sebagai berikut:

P : Daya (Watt)

V : Tegangan (Volt)

I : Arus (Ampere)

$$P = V \times I \tag{3.1.2}$$

2.2.17. Akurasi

Akurasi sensor yaitu suatu sensor dapat didefinisikan sebagai seberapa dekat nilai yang diukur dibandingkan dengan nilai sebenarnya. Prinsipnya akurasi adalah keakuratan metode analisis, atau kedekatan antar nilai diukur dengan nilai yang diterima sebenarnya.

$$Akurasi = 100\% - Error \% \tag{3.1.3}$$

Sedangkan persentase error pengukuran didapat dari pembagian nilai selisih pembacaan dengan nilai alat kemudian dikalikan 100%, maka dapat digunakan persamaan 2.7 [40].

$$Error = \left| \frac{Nilai\ sebenarnya - Nilai\ sensor}{Nilai\ sebenarnya} \right| \times 100 \quad (3.1.4)$$

2.2.18. Quality of Service (QoS)

Quality of Service (QoS) adalah metode untuk mengukur seberapa baik jaringan dan upaya untuk menentukan karakteristik layanan [41]. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kualitas layanan QoS seperti atenuasi, distorsi dan noise. Misalnya saat streaming video, panggilan video tidak lancar, gambar yang dihasilkan kurang optimal karena *bandwidth* yang tidak mencukupi, latensi yang tidak ditentukan dan *jitter* yang berlebihan. QoS digunakan untuk mengetahui kualitas dari jaringan yang dibangun, sehingga memiliki tujuan akhir yaitu produktivitas dan efisiensi jaringan dapat meningkat [42].

$$Delay = \text{waktu paket diterima} - \text{waktu paket dikirimkan} \quad (3.1.5)$$

Salah satu parameter QoS yaitu *delay*. *Delay* atau *latency* adalah waktu yang dibutuhkan data untuk melakukan perjalanan dari sumber ke tujuan. Keterlambatan pengiriman data dapat dipengaruhi oleh jarak, media fisik, kemacetan atau waktu pemrosesan yang lama [41].

Tabel 2. 6 Standar Delay

Kategori Latensi	Delay (ms)	Indeks
Sangat Bagus	< 150 ms	4
Bagus	150 ms s/d 300 ms	3
Sedang	300 ms s/d 450 ms	2
Jelek	>450ms	1

Pada tabel 2.6 adalah kategori dari delay yang diambil dari standarisasi THIPON. Pada standar tersebut kategori dibagi menjadi 4 indeks kategori dengan nilai delay tertentu dalam milidetik.

Throughput yaitu kecepatan (*rate*) transfer data efektif, yang diukur dalam bps (*bit per second*). *Throughput* adalah jumlah total kedatangan paket yang sukses yang diamati pada tujuan selama interval waktu tertentu dibagi oleh durasi interval waktu tersebut.

$$\textit{Throughput} = \frac{\text{Paket data diterima}}{\text{Lama pengamatan}} \quad (3.1.6)$$

Tabel 2. 7 Standar *Throughput*

Kategori <i>Throughput</i>	<i>Throughput (bps)</i>	Indeks
Sangat Bagus	100	4
Bagus	75	3
Sedang	50	2
Jelek	<25	1

Kategori *Throughput* diperlihatkan di Tabel 2.7 dengan pengkategorian berdasarkan standarisasi THIPON yang dibagi menjadi 4 indeks kategori. Indeks kategori digunakan sebagai pengkategorian berdasarkan nilai *throughput*nya.

Packet Loss merupakan suatu parameter yang menggambarkan kondisi jumlah total paket yang hilang, yang dapat terjadi karena collision dan congestion pada jaringan. Penyebab utamanya meliputi gangguan jaringan, di mana lalu lintas data yang terlalu padat membuat router dan switch membuang paket karena tidak mampu menanganinya. Kesalahan perangkat keras seperti kerusakan pada router, switch, atau kabel juga bisa menyebabkan paket hilang. Selain itu, kesalahan konfigurasi jaringan dan gangguan sinyal dari perangkat lain dapat mengganggu transmisi paket. Pembatasan bandwidth yang tidak mencukupi kebutuhan data juga dapat menyebabkan beberapa paket terbuang. Kerusakan paket selama transmisi akibat gangguan elektromagnetik, buffer penuh pada router atau switch, serta kebijakan Quality of Service (QoS) yang memprioritaskan jenis lalu lintas tertentu dapat mengakibatkan paket lain dibuang.

$$Packet\ loss = \frac{(\text{Paket data dikirim} - \text{Paket data diterima}) \times 100\%}{\text{paket data yang dikirim}} \quad (3.1.7)$$

Dalam proyek IoT untuk pemantauan sel surya, paket loss dapat dipantau dan dianalisis menggunakan alat seperti Wireshark untuk mengidentifikasi masalah jaringan dan melakukan optimisasi lebih lanjut.. Indeks dan kategori packet loss. Indeks dari *packet loss* didapat dari standarisasi tiphon dengan kategori berupa indeks yang merepresentasikan kualitas dari pengiriman data.

Tabel 2. 8 Standar *Packet Loss*

Kategori Degradasi	Paket Loss (%)	Indeks
Sangat Bagus	0	4
Bagus	3	3
Sedang	15	2
Jelek	25	1

Pada tabel 2.8 merupakan indeks dan kategori packet loss. Indeks dari *packet loss* didapat dari standarisasi tiphon dengan kategori berupa indeks yang merepresentasikan kualitas dari pengiriman data.

2.2.19. Kalibrasi *Multi-Point*

Kalibrasi merupakan suatu cara untuk menampilkan nilai normal secara pasti suatu alat ukur dengan cara membandingkannya dengan suatu standar pengukuran. Hasil kalibrasi sesuai dengan nilai standar nasional atau internasional. Tujuan dari kalibrasi adalah untuk mengetahui penyimpangan pada alat ukur dan memastikan hasil pengukuran memenuhi standar internasional. Kalibrasi mempunyai keunggulan dalam menjaga kondisi alat ukur, menunjang sistem lebih akurat dan mengetahui nilai simpangan alat ukur [43].

Kalibrasi *multipoint* merupakan suatu proses kalibrasi yang melibatkan lebih dari satu titik referensi. Tujuan utama dari kalibrasi multipoint adalah memastikan bahwa alat ukur atau sensor mampu memberikan pembacaan yang akurat di sepanjang seluruh rentang operasionalnya, bukan hanya pada satu titik tertentu [44]. Dengan melakukan kalibrasi multipoint, dapat memperoleh kurva

kalibrasi yang lebih akurat dan dapat digunakan untuk mengkonversi pembacaan sensor menjadi nilai kuantitatif dari variabel yang diukur. Proses ini memberikan kepastian bahwa respons sensor dapat diandalkan dan sesuai dengan variasi yang mungkin terjadi dalam lingkungan pengukuran [45].

2.2.20. Wireshark

Wireshark adalah *software* yang digunakan untuk menganalisa paket data pada jaringan. Dikenal juga sebagai penganalisis paket jaringan, wireshark memiliki kemampuan untuk menangkap semua paket yang dikirim dalam jaringan dan juga digunakan untuk menampilkan semua informasi paket data secara detail. Wireshark juga menyertakan penganalisis pake jaringan, yang fungsinya mengumpulkan semua data informasi yang dihasilkan selama komunikasi data di jaringan internet dan menampilkan informasi data tersebut sedetail mungkin. Wireshark juga merupakan alat yang fleksibel karena memungkinkan untuk memeriksa data terlepas dari hasil data tersebut berasal dari jaringan internet kabel maupun nirkabel [46].

Wireshark disebut juga program untuk menganalisis protokol jaringan. Wireshark terutama digunakan untuk melacak manajemen jaringan di bisnis dan institusi untuk memastikan bahwa jaringan berfungsi dengan baik dan untuk melacak apa yang terjadi [47].

Wirehark dalam memonitoring jaringan komputer memudahkan administrator jaringan untuk memantau jaringan komputer. Aplikasi wireshark ini memungkinkan untuk memantau, meninjau dan menyimpan informasi tentang paket-paket di jaringan secara detail, baik paket keluar maupun paket masuk. Selain itu tampilan grafis (GUI) wireshark sangat baik dan menjadikan aplikasi yang mudah digunakan untuk memantau semua aktivitas serta kegiatan yang dilakukan pada suatu jaringan atau pada jaringan yang dimiliki [48]. Beberapa fitur penting dari wireshark sebagai berikut :

1. Platform Cross

Wireshark mendukung berbagai sistem operasi, aplikasi ini dapat dijalankan pada sistem operasi Linux, Windows, macOS dan beberapa sistem operasi Unix lainnya. Ini memberikan fleksibilitas kepada pengguna wireshark di berbagai lingkungan.

2. *Capture Packet* Langsung

Wireshark dapat secara langsung menangkap paket dari jaringan *interface* yang terhubung ke sistem. Pengguna dapat memilih *interface* yang sesuai untuk memonitor dan menganalisis lalu lintas jaringan yang kemudian dapat secara langsung ditangkap dalam kurun waktu tertentu.

3. Detail Hasil Tangkapan

Wireshark menyajikan hasil tangkapan dengan detail yang tinggi. Setiap paket dapat dianalisis secara mendalam, termasuk informasi seperti *header protocol*, *payload*, alamat sumber, alamat tujuan dan waktu.

4. Pemfilteran Paket

Wireshark memungkinkan pengguna untuk menerapkan filter pada paket-paket yang ditangkap. Filter dapat disesuaikan berdasarkan alamat IP, *port*, *protocol* dan kriteria lainnya. Hal ini sangat membantu pengguna wireshark fokus pada informasi yang relevan.

5. *Save, Import* dan *Export*

Pengguna wireshark dapat menyimpan hasil tangkapan dalam format file wireshark sendiri atau dalam format file lain seperti pcap (*Packet Capture*). Hal ini memungkinkan pengguna untuk membagikan hasil analisis dengan pihak lain atau menyimpannya untuk referensi selanjutnya. Wireshark juga mendukung impor dan ekspor ke berbagai file, seperti CSV atau *plain text* untuk integrasi dengan alat analisis lainnya [49].