

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai pengembangan sistem tong sampah pintar berbasis teknologi telah oleh beberapa penelitian dengan berbagai pendekatan. Fokus utama penelitian tersebut umumnya berada pada peningkatan efisiensi dalam proses pemilahan sampah melalui pemanfaatan teknologi seperti mikrokontroler, sensor, dan Internet Of Things (IoT). Berbagai macam penelitian mempunyai metode, karakteristik, serta tingkat keberhasilan yang berbeda dalam implementasinya. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan kajian terhadap beberapa penelitian terdahulu yang relevan guna untuk mengetahui perkembangan yang telah ada, mengidentifikasi kelebihan dan keterbatasan, serta menjadi dasar dalam pengembangan sistem yang diusulkan. Berikut penelitian yang relevan dengan topik yang diusulkan guna menjadi acuan perkembangan inovasi :

1. Penelitian yang dilakukan oleh **Ade Agung Kurniawan, Hermanto, dan Suci Rahmawati (2024)** bertujuan untuk mengembangkan sebuah ide dan gagasan inovasi teknologi yang ramah lingkungan untuk memajukan lingkungan yang bersih dan modern. Dengan menciptakan inovasi yaitu Tong Sampah Cerdas yang dapat mengklasifikasi secara otomatis dengan berdasarkan kategori umum dengan menerapkan IoT menggunakan sumber panel surya. Berdasarkan hasil penelitian, klasifikasi untuk membuang sampah secara otomatis membuka tutup sampah sesuai dengan klasifikasi. Sistem dapat bekerja dengan baik dalam melakukan deteksi jenis sampah. Namun, penelitian ini masih memiliki keterbatasan dalam penggunaan sumber energi secara mandiri[1].
2. Penelitian yang dilakukan oleh **I Gusti Made Ngurah Desnanjaya, I Kadek Budi Sandika, Ida Bagus Gede Sarasvananda, Putu Wirayudi Aditama, I Komang Arya Ganda Wiguna (2023)** bertujuan Untuk mengelola sampah dengan baik untuk mengurangi penyebaran penyakit.

Tempat sampah ini berbasis Arduino uno sebagai mikrokontroler dan sensor proximity dan inframerah sebagai pemilah sampah. Metode yang digunakan untuk mengumpulkan data yaitu dengan metode SDLC (System Development Live Cycle). Dengan melakukan 30 pengujian dengan 10 pengujian setiap jenis sampah, memiliki status berhasil dan berjalan sesuai dengan yang diinginkan. Namun Penelitian ini masih memiliki keterbatasan dalam menggunakan sensor. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan agar pengembangan sistem yang lebih optimal dengan memanfaatkan multi sensor dan sumber energi mandiri untuk meningkatkan kinerja sistem [2].

3. Penelitian yang dilakukan oleh **Rizky Agung Ramadhan, Giganta Rose Kakke, I Nur Fajar, Soni Prayogi (2023)** bertujuan untuk membuat tempat sampah dengan berbasis PV-Grid yang dapat membuka dan menutup secara otomatis sesuai dengan klasifikasi sampah yang telah terbaca dengan sensor. PV-Grid sebagai pasokan energi sumber secara Off-Grid. Sistem menggunakan mikrokontroler Arduino dan sensor ultrasonik untuk mendeteksi kapasitas sampah serta dilengkapi fitur notifikasi secara real-time. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik, termasuk dalam pengisian baterai dan deteksi objek. Namun, penelitian ini masih terbatas pada fungsi monitoring dan belum mengimplementasikan klasifikasi sampah berbasis multi sensor. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem yang lebih optimal dengan menambahkan fitur klasifikasi dan peningkatan efisiensi energi [3].
4. Penelitian yang dilakukan oleh **Azhari, Suppa, dan Mukramin (2024)** bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pemilah sampah logam dan nonlogam secara otomatis. Sistem yang dikembangkan mampu melakukan klasifikasi sampah berdasarkan jenis material menggunakan sensor sebagai media deteksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik dalam memisahkan sampah logam dan nonlogam secara otomatis. Namun, penelitian ini masih terbatas pada

penggunaan sumber energi konvensional dan belum memanfaatkan energi terbarukan sebagai sumber daya sistem. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi dasar pengembangan sistem yang diusulkan dengan menambahkan pemanfaatan energi surya serta integrasi multi sensor untuk meningkatkan kinerja sistem [4].

Berdasarkan kajian penelitian terdahulu, diketahui bahwa sebagian besar sistem tong sampah pintar yang telah dikembangkan masih memiliki keterbatasan pada aspek klasifikasi sampah, penggunaan sensor tunggal, serta ketergantungan terhadap sumber energi konvensional. Selain itu, belum banyak penelitian yang mengintegrasikan teknologi multi sensor, pemanfaatan energi surya, dan sistem monitoring berbasis IoT dalam satu sistem yang terintegrasi.

Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pengembangan Sistem Tong Sampah Pintar Berbasis Energi Surya dengan Klasifikasi Sampah Logam dan Nonlogam Menggunakan Multi Sensor dan ESP32. Sistem yang diusulkan diharapkan mampu meningkatkan akurasi klasifikasi sampah, mendukung operasional yang mandiri melalui energi surya, serta menyediakan monitoring data secara real-time melalui teknologi IoT.

2.2 Dasar Teori

Dasar Teori merupakan teori dan penjelasan setiap komponen dan perangkat yang digunakan pada sistem.

2.2.1 Pengertian Sampah

Menurut UU Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan atau proses alam yang berbentuk padat (Depkes RI, 2008). Sampah dibedakan beberapa klasifikasi diantaranya :

1. Sampah Logam

Sampah logam merupakan sampah yang mengandung unsur logam, seperti besi, aluminium, baja, dan logam lainnya. Umumnya memiliki sifat kuat, tahan lama, serta dapat didaur ulang dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Oleh karena itu, sampah logam memiliki nilai ekonomi yang lebih tinggi

dibandingkan jenis sampah lainnya dan dapat dimanfaatkan kembali melalui proses daur ulang.

2. Sampah Nonlogam

Sampah Nonlogam merupakan sampah hasil bahan yang tidak mengandung unsur logam, seperti plastik, kayu, kertas, kaca, dan bahan organik lain. Sampah ini memiliki karakteristik beragam, baik dari yang dapat terurai secara alami hingga yang sulit terurai. Pengelolaan sampah nonlogam memerlukan perlakuan khusus tergantung pada jenis materialnya.

Dalam penelitian ini, sistem klasifikasi sampah difokuskan pada pemisahan antara sampah logam dan nonlogam secara otomatis dengan memanfaatkan sensor logam sebagai parameter utama dalam proses deteksi

2.2.2 Sistem Tong Sampah Pintar Berbasis Embedded System

Sistem tong sampah pintar (*smart trash bin*) merupakan sistem berbasis teknologi yang dirancang untuk membantu proses pemilahan sampah secara otomatis berdasarkan kategori tertentu dengan memanfaatkan sensor, mikrokontroler, dan aktuator. Sistem ini termasuk dalam kategori *embedded system* (sistem tertanam), yaitu sistem komputer yang dirancang untuk menjalankan fungsi tertentu secara otomatis dan terintegrasi dalam suatu perangkat. *Embedded system* terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang bekerja secara bersama untuk mengontrol dan mengelola suatu proses secara *real-time*. Dalam penerapannya, sistem ini banyak digunakan pada berbagai perangkat elektronik yang memerlukan kontrol otomatis dan efisiensi kerja yang tinggi.

Pada penelitian ini, sistem tong sampah pintar dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali yang berfungsi mengolah data dari sensor dan mengendalikan aktuator [5]. Perhitungan nilai kalibrasi error dan akurasi pada setiap sensor yang digunakan sebagai perangkat masukan (*input*) untuk mendeteksi karakteristik sampah yang dimasukkan ke dalam sistem. Dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$Error(\%) = \frac{|Jarak_{sensor} - Jarak_{referensi}|}{Jarak_{referensi}} \times 100\% \quad (2.1)$$

Untuk perhitungan nilai akurasi dapat diperhitungkan menggunakan persamaan berikut :

$$Akurasi(\%) = 100\% - Error(\%) \quad (2.2)$$

Data hasil deteksi kemudian diproses oleh ESP32 untuk menentukan kategori sampah yang sesuai. Berdasarkan hasil pengolahan data tersebut, ESP32 akan mengirimkan perintah kepada aktuator berupa motor servo untuk mengarahkan sampah ke wadah yang telah ditentukan. Seluruh komponen dalam sistem bekerja secara terintegrasi sehingga proses pemilahan dapat dilakukan secara otomatis tanpa campur tangan pengguna. Selain itu, sistem dirancang menggunakan sumber energi mandiri yang berasal dari panel surya dan baterai penyimpanan, sehingga mampu beroperasi secara efisien serta mendukung penerapan teknologi ramah lingkungan. Dengan sistem berbasis panel suurya tersebut harus diperhitungkan kebutuhan energi dengan memperhitungkan kebutuhan daya setiap komponennya dengan mengetahui kebutuhan setiap komponen akan mengetahui kebutuhan keseluruhan sistem bekerja. Perhitungan ini dapat menggunakan **persamaan 2.3** sebagai berikut:

Keterangan :

P_i = daya Komponen (W)

V_i = Tegangan Komponen (V)

I_i = Arus Komponen (A)

Dengan adanya sistem tong sampah pintar, proses pengelolaan dan pemilahan sampah diharapkan menjadi lebih efektif, akurat, dan praktis dibandingkan metode pemilahan secara manual.

2.2.3 Internet Of Things

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang memungkinkan berbagai perangkat fisik untuk saling terhubung dan bertukar data melalui jaringan internet. Dengan teknologi IoT, data yang diperoleh dari sensor dapat dikirim, disimpan, dan

dipantau secara *real-time* tanpa memerlukan interaksi langsung dari pengguna. Penerapan IoT banyak digunakan dalam berbagai bidang, seperti pemantauan lingkungan, sistem keamanan, pertanian cerdas, dan pengelolaan sampah pintar.

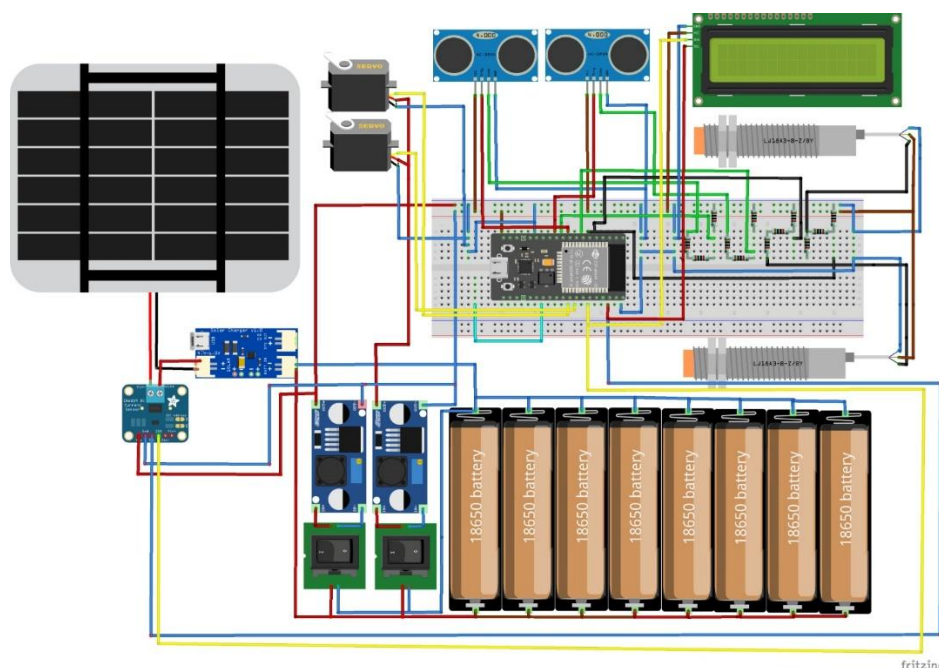
Pada penelitian ini, konsep IoT diterapkan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang telah dilengkapi dengan modul Wi-Fi terintegrasi sehingga dapat terhubung langsung ke jaringan internet tanpa memerlukan perangkat tambahan. ESP32 beroperasi dalam mode *Station* (STA) untuk terhubung ke akses poin (*access point*) yang tersedia. Melalui koneksi tersebut, data hasil pembacaan sensor dapat dikirim ke server atau platform monitoring sehingga kondisi sistem dapat dipantau secara *real-time*. Dengan penerapan IoT, proses pemantauan sistem tong sampah pintar menjadi lebih mudah, cepat, dan efisien.

2.2.4 ESP32 DevKit V1

ESP32 DevKit V1 merupakan papan pengembangan berbasis modul ESP-WROOM-32 yang dikembangkan oleh Espressif Systems [5]. Board ini dirancang untuk mempermudah pengembangan sistem Embedded dan Internet Of Things (IoT) karena telah mengintegrasikan mikrokontroler, modul Wi-Fi, dan Bluetooth dalam satu perangkat [5]. Selain memiliki kemampuan pemrosesan data yang tinggi, Beragam antarmuka tersebut memungkinkan ESP32 dihubungkan dengan berbagai sensor, aktuator, dan perangkat komunikasi sehingga banyak digunakan dalam pengembangan sistem otomasi dan IoT.

Pada penelitian ini, ESP32 DevKit V1 berfungsi sebagai otak atau pusat pengendali (*maincontroller*) yang mengkoordinasikan seluruh proses kerja sistem tong sampah pintar berbasis energi surya. ESP32 menerima seluruh proses kerja dari sensor induktif untuk mendeteksi material logam, Kebutuhan energi pada dapat diperhitungkan dengan menggunakan **persamaan 2.3** sensor kapasitif untuk mendeteksi material non-logam, serta dua sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi keberadaan objek dan memantau Tingkat kepenuhan tong sampah. Data dari seluruh sensor kemudian diproses sesuai algoritma yang telah dirancang untuk menentukan jenis yang masuk. Berdasarkan hasil pemrosesan tersebut, ESP32

menghasilkan sinyal PWM untuk mengendalikan dua motor servo sebagai mekanisme pemilah sampah, menampilkan informasi pada LCD 16 x 2 berbasis I²C, serta mengirimkan data memonitoring aplikasi blynk melalui jaringan Wi-Fi sehingga kondisi sistem dapat dipantau secara real-time. Dengan demikian, ESP32 tidak hanya berperan sebagai pengolah data, tetapi juga sebagai pengendali komunikasi, aktuator, dan sistem, monitoring dalam keseluruhan proses pemilahan sampah.



Gambar 2. 1 *Diagram Wiring*

Pada **Gambar 2.1** menunjukkan wiring atau hubungan kelistrikan seluruh komponen pada sistem alat. panel surya digunakan sebagai sumber energi yang terhubung ke rangkaian pengisian dan baterai. Tegangan dari sumber tersebut kemudian digunakan untuk menyuplai ESP32 dan komponen lainnya. ESP32 menjadi pusat pengendali yang terhubung dengan sensor ultrasonik, sensor pendeteksi material, motor servo, dan LCD. Sensor digunakan sebagai input untuk memberikan informasi kepada ESP32 mengenai keberadaan dan jenis sampah serta tingkat kepenruhan tong. Data dari sensor diproses oleh ESP32, kemudian digunakan untuk mengendalikan motor servo sebagai mekanisme pemilah sampah. LCD digunakan untuk menampilkan informasi kondisi sistem. Dengan demikian,

hubungan pada rangkaian tersebut membentuk alur sumber energi → sensor → ESP32 → aktuator dan tampilan, sehingga setiap komponen dapat bekerja sesuai fungsi masing-masing.

Tabel 2. 1 Pin Mapping ESP32

GPIO	KOMPONEN	JENIS PIN	FUNGSI
GPIO34	Sensor Induktif	INPUT	Deteksi Logam (induktif)
GPIO35	Sensor Kapasitif	INPUT	Deteksi Non-Logam(kapasitif)
GPIO18	Servo A	PWM OUTPUT	Menggerakkan Servo Logam A
GPIO17	Servo B	PWM OUTPUT	Menggerakkan Servo Non-Logam B
GPIO4	LCD SDA + INA219	I ² C	Jalur Data LCD
GPIO5	LCD SCL + INA219	I ² C	Jalur Clock LCD
GPIO25	Ultrasonik 1 TRIG	OUTPUT	Trigger HC-SR04
GPIO26	Ultrasonik 1 ECHO	INPUT	Echo HC-SR04
GPIO27	Ultrasonik 2 TRIG	OUTPUT	Trigger HC-SR04
GPIO32	Ultrasonik 2 ECHO	INPUT	Echo HC-SR04

Pada **Tabel 2.1** merupakan spesifikasi dan fitur yang dimiliki, ESP32 DevKit V1 dipilih sebagai mikrokontroler utama pada penelitian ini karena mampu mengintegrasikan proses pembacaan sensor, pengendalian aktuator, komunikasi dengan LCD, serta pengiriman data melalui jaringan Wi-Fi ke aplikasi Blynk. Dengan demikian, ESP32 berperan sebagai pusat kendali yang mengoordinasikan seluruh proses kerja sistem tong sampah pintar berbasis energi surya.

2.2.5 Sensor ultrasonic HC-SR04



Gambar 2. 2 Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik HC-SR04 pada **Gambar 2.2** merupakan sensor elektronik yang digunakan untuk mengukur jarak suatu objek dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik berfrekuensi sekitar 40 kHz. Sensor ini bekerja dengan cara memancarkan gelombang ultrasonik melalui pin Trigger (TRIG), kemudian menerima pantulan gelombang yang dipantulkan oleh objek melalui pin Echo (ECHO). Selisih waktu antara gelombang yang dipancarkan dan diterima kembali digunakan untuk menghitung jarak objek terhadap sensor..

Pada penelitian ini digunakan dua buah sensor ultrasonik HC-SR04 yang berfungsi untuk mengukur tingkat kepenuhan (level) masing-masing tong sampah, yaitu tong sampah logam dan tong sampah non-logam [3]. Setiap sensor dipasang pada bagian atas wadah sampah untuk mengukur jarak antara sensor dengan permukaan sampah. Semakin kecil jarak yang terbaca, maka semakin tinggi tingkat kepenuhan tong sampah. Data hasil pengukuran tersebut dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 DevKit V1 untuk diproses dan ditampilkan pada aplikasi Blynk, sehingga pengguna dapat memantau kapasitas kedua tong sampah secara real-time. Pada **tabel 2.2** merupakan Tabel Pinout HC-SR04 yang terhubung pada ESP32.

Tabel 2. 2 Pinout HC-SR04

Pin	Fungsi	Hubungkan ke ESP32
Ultrasonik 1 TRIG	Pemicu Sensor	GPIO25
Ultrasonik 1 ECHO	Membaca pantulan	GPIO26
Ultrasonik 2 TRIG	Pemicu sensor	GPIO27
Ultrasonik 2 ECHO	Membaca pantulan	GPIO32
VCC	Catu daya	5 V
GND	Ground	GND

Prinsip kerja sensor HC-SR04 diawali dengan pemberian sinyal logika tinggi (*HIGH*) pada pin Trigger selama sekitar 10 μ s. Sensor kemudian memancarkan delapan gelombang ultrasonik berfrekuensi 40 kHz menuju permukaan sampah. Gelombang yang mengenai permukaan sampah akan dipantulkan kembali dan diterima oleh pin Echo. Waktu tempuh gelombang dari proses pemancaran hingga diterima kembali digunakan menghitung jarak objek terhadap sensor.

Jarak objek dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$d = \frac{v \times t}{2} \quad (2.3)$$

Keterangan :

d = jarak antara sensor dan objek (cm)

v = kecepatan rambat suara di udara (343 m/s atau 0,0343 cm/ μ s)

t = waktu tempuh gelombang ultrasonik (detik atau μ s)

*pembagian dengan 2 angka menunjukkan gelombang ultrasonik menempuh lintasan pergi dan kembali (round trip)

Dalam implementasi yang digunakan dalam mikrokontroler ESP32, waktu pantulan (*Echo*) umumnya dikonversi menjadi jarak. Dengan demikian, sensor ultrasonik HC-SR04 memiliki peran penting dalam sistem yang dirancang karena mampu memberikan informasi mengenai jarak antara sensor dan permukaan sampah. Informasi tersebut dimanfaatkan untuk menghitung tingkat kepenuhan masing-masing tong sampah sehingga pengguna dapat mengetahui kapasitas wadah secara *real-time*. Penggunaan dua sensor ultrasonik pada penelitian ini memungkinkan proses pemantauan level tong sampah logam dan non-logam dilakukan secara independen sehingga meningkatkan efektivitas sistem monitoring.

2.2.6 Sensor Proximity Induktif LJ12A3-4-Z/BY (PNP)



Gambar 2. 3 Sensor Proximity Induktif LJ12A3-4-Z/BY

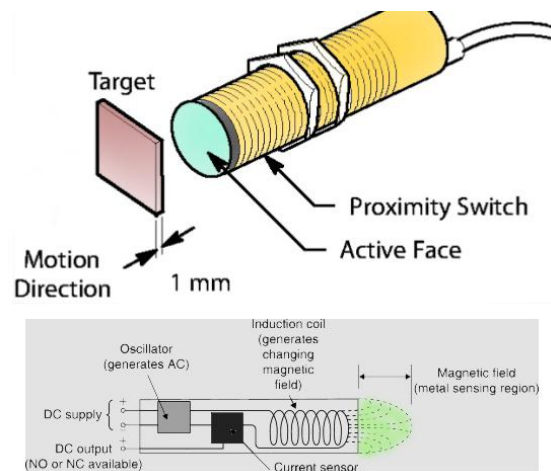
Tabel 2. 3 Spesifikasi Sensor Proximity LJ12A3-4-Z/BY

Parameter	Spesifikasi
Tipe Sensor	Induktif Proximity Sensor
Model	LJ12A3-4-Z/BY (PNP)

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Operasi	5 V
Jarak Deteksi	4 mm
Jenis Output	PNP Normally Open (NO)
Objek Deteksi	Material Logam
Diameter Sensor	12 mm
Indikator	LED

Sensor proximity induktif LJ12A3-4-Z/BY (PNP) pada **Gambar 2.3** merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek berdasarkan perubahan medan elektromagnetik yang terjadi ketika material logam berada di sekitar area pendeteksian sensor [6]. Sensor ini umumnya digunakan untuk mendeteksi benda berbahan logam tanpa memerlukan kontak langsung antara sensor dengan objek. Kemampuan tersebut membuat sensor proximity induktif sesuai digunakan pada sistem otomatisasi yang membutuhkan proses pendeteksian material logam.

Pada penelitian ini, pada **Tabel 2.3** merupakan spesifikasi sensor proximity induktif LJ12A3-4-Z/BY (PNP) digunakan sebagai sensor untuk menentukan jenis material yang terdeteksi pada sistem pemilah sampah. Sensor terhubung dengan mikrokontroler ESP32 DevKit V1 melalui GPIO34. Berdasarkan program yang digunakan, keluaran sensor dibaca menggunakan fungsi `analogRead()`, sehingga ESP32 memperoleh nilai pembacaan analog dari sensor. Hasil pembacaan sensor kemudian dibandingkan dengan nilai ambang (*threshold*) yang telah ditentukan dalam program. Nilai *threshold* sensor induktif pada sistem ini adalah 800. Apabila nilai pembacaan sensor lebih besar dari nilai tersebut, program menganggap bahwa material yang diperiksa merupakan logam. Sebaliknya, apabila nilai pembacaan tidak memenuhi kondisi tersebut, objek dikategorikan sebagai nonlogam.



Gambar 2. 4 Cara Kerja sensor induktif

Pada **Gambar 2.4** Sensor proximity induktif bekerja dengan memanfaatkan medan elektromagnetik untuk mendeteksi benda logam tanpa harus menyentuhnya. Ketika sensor mendapatkan catu daya, rangkaian osilator menghasilkan sinyal yang dialirkan ke kumparan sehingga terbentuk medan elektromagnetik pada bagian depan sensor. Saat benda logam mendekati area tersebut, medan elektromagnetik mengalami perubahan akibat munculnya arus eddy pada benda logam. Perubahan ini kemudian dideteksi oleh rangkaian internal sensor dan menyebabkan kondisi output berubah. Pada penelitian ini, output sensor PNP selanjutnya diturunkan menggunakan rangkaian pembagi tegangan sebelum masuk ke GPIO34 ESP32, sehingga ESP32 dapat membaca kondisi sensor dan menentukan apakah objek yang diperiksa mengandung material logam. Sensor LJ12A3-4-Z/BY menggunakan keluaran PNP Normally Open (NO), yaitu output dalam kondisi tidak aktif saat tidak terdapat objek logam dan akan memberikan tegangan positif ketika material logam terdeteksi.

2.2.7 Sensor Proximity Kapasitif LJC18A3-H-Z/BY



Gambar 2. 5 Sensor Proximity Kapasitif LJC18A3-H-Z/BY

Sensor proximity kapasitif (*Capacitive Proximity Sensor*) pada **Gambar 2.5** merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan suatu objek tanpa melakukan kontak langsung. Sensor bekerja dengan memanfaatkan perubahan medan listrik pada area pendeteksian ketika terdapat objek yang mendekati permukaan sensor.

Tabel 2. 4 Spesifikasi Sensor Proximity Kapasitif LJC18A3-H-Z/BY

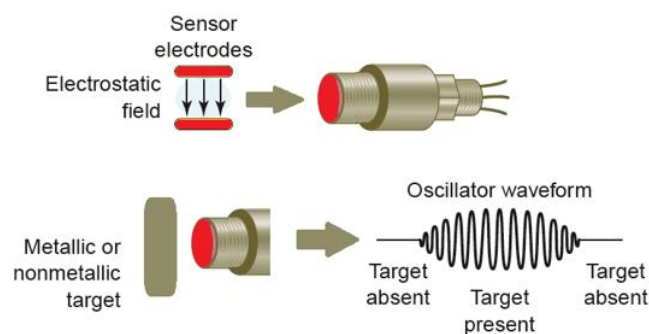
Parameter	Spesifikasi
Tipe Sensor	Proximity kapasitif
Model	LJC18A3-H-Z/B Y 10mm 6-36V DC PNP Switch
Tegangan Operasi	5 V
Jarak Deteksi	10 mm 10%
Jenis Output	PNP
Objek Deteksi	Material Logam
Diameter Sensor	M18
Indikator	LED

Tabel 2. 5 Pinout Sensor Kapasitif

PIN SENSOR KAPASITIF	PIN ESP32	FUNGSI
VCC	5 V	Catu Daya Sensor
GND	GND	Ground
OUTPUT	GPIO35	Sinyal deteksi nonlogam

Pada **Tabel 2.4** merupakan spesifikasi sensor proximity kapasitif LJC18A3-H-Z/BY digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek atau material nonlogam pada proses klasifikasi sampah_[6]. Dan pada **Tabel 2.5** merupakan tabel Pinout Sensor ini bekerja berdasarkan perubahan medan kapasitif ketika objek berada pada

area pendeteksiannya. Sinyal keluaran sensor kemudian diterima oleh ESP32 untuk diproses sebagai salah satu parameter dalam menentukan jenis sampah. Sensor terhubung dengan mikrokontroler ESP32 DevKit V1 melalui GPIO35. Berdasarkan program yang digunakan, nilai keluaran sensor dibaca menggunakan metode pembacaan analog dengan fungsi `analogRead()`. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai ambang (*threshold*) sebesar 800 untuk menentukan apakah terdapat objek yang berada pada area pendeteksian.



Gambar 2. 6 cara kerja sensor kapasitif

Pada **Gambar 2.6** merupakan cara bekerja sensor berdasarkan perubahan kapasitansi akibat adanya objek pada medan listrik sensor. Secara teori, kapasitansi dipengaruhi oleh permitivitas material, luas elektroda, dan jarak objek terhadap sensor, yang dapat dinyatakan dengan persamaan: Ketika objek mendekati permukaan sensor, perubahan kapasitansi menyebabkan perubahan pada kondisi osilator yang kemudian dideteksi oleh rangkaian elektronik sensor. Perubahan tersebut menghasilkan sinyal keluaran yang dibaca oleh ESP32 sebagai tanda adanya objek. Dalam penelitian ini, sensor kapasitif digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek, sedangkan penentuan logam atau nonlogam dilakukan dengan mempertimbangkan hasil pembacaan sensor kapasitif dan sensor proximity induktif. Apabila objek terdeteksi oleh sensor kapasitif tetapi tidak terdeteksi oleh sensor induktif, objek dikategorikan sebagai nonlogam berdasarkan logika program yang digunakan.

Perbedaan penggunaan sensor kapasitif dan induktif didasarkan pada prinsip kerja dan karakteristik objek yang dideteksi. Sensor kapasitif digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek berdasarkan perubahan kapasitansi, sedangkan sensor induktif digunakan untuk mendeteksi material logam berdasarkan perubahan medan elektromagnetik. Oleh karena itu, pada penelitian ini sensor kapasitif digunakan sebagai pendeteksi awal, sementara sensor induktif digunakan untuk membantu menentukan keberadaan material logam.

2.2.8 Motor Servo MG996R

Motor servo merupakan aktuator yang digunakan untuk menghasilkan gerakan sudut berdasarkan sinyal kendali yang diberikan oleh mikrokontroler. Motor servo umumnya digunakan pada sistem otomatisasi yang membutuhkan pengaturan posisi secara terarah. Pengendalian posisi dilakukan dengan memberikan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) kepada servo sehingga poros motor dapat bergerak menuju posisi sudut yang telah ditentukan. Pada **Gambar 2.7** terdapat Motor Servo yang digunakan



Gambar 2. 7 Motor Servo 996R

Tabel 2. 6 Pinout Servo A

PIN SERVO MG996R A	STEP UP 5A	FUNGSI
Merah (VCC)	5V	Catu Daya
Coklat (GND)	GND	Ground
ORANGE (SIGNAL)	GPIO18	Sinyal PWM

Tabel 2. 7 Pinout Servo B

PIN SERVO MG996R B	STEP UP 5A	FUNGSI
Merah (VCC)	5V	Catu Daya
Coklat (GND)	GND	Ground
ORANGE (SIGNAL)	GPIO17	Sinyal PWM

Tabel 2. 8 Spesifikasi Motor Servo 996R

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Operasi	5 V
Arus	1 A
Torsi Stall	4,8 V-6 V (9,4-11 Kg/cm)
Rotasi	0°-180°
Jenis gigi	Logam

Pada **Tabel 2.8** merupakan spesifikasi Motor Servo MG996R yang digunakan pada sistem alat ini. Dan **Tabel 2.6** dan **Tabel 2.7** merupakan Pinout sensor motor servo MG996R sebagai aktuator pada mekanisme pemilah sampah. Kedua servo memiliki fungsi yang berbeda sesuai dengan hasil klasifikasi objek. Servo pertama digunakan untuk mengarahkan sampah logam, sedangkan servo kedua digunakan untuk mengarahkan sampah nonlogam. Berdasarkan program yang digunakan, servo logam terhubung pada GPIO18, sedangkan servo nonlogam terhubung pada GPIO17. Pengendalian motor servo dilakukan oleh ESP32 menggunakan pustaka ESP32Servo. Pada saat sistem mulai bekerja, kedua servo ditempatkan pada posisi awal sebesar 90°. Posisi tersebut digunakan sebagai kondisi awal sebelum proses pemilahan dilakukan.

Ketika sensor mendeteksi objek dan proses klasifikasi telah selesai, ESP32 menentukan servo yang harus digerakkan berdasarkan jenis material. Untuk sampah logam, program menggerakkan servo yang terhubung pada GPIO18 ke posisi yang telah ditentukan, kemudian mengembalikannya ke posisi awal setelah proses pemilahan selesai. Sementara itu, sampah nonlogam diarahkan menggunakan servo pada GPIO17 dengan mekanisme pergerakan yang sama. Dalam program, pergerakan servo dilakukan dengan memberikan nilai sudut melalui fungsi `write()`. Servo kemudian ditahan pada posisi pemilahan selama

waktu tertentu sebelum dikembalikan ke posisi awal. Mekanisme ini memungkinkan objek yang telah diklasifikasikan dapat diarahkan menuju wadah yang sesuai. Dengan demikian, motor servo MG966R berfungsi sebagai aktuator mekanisme pemilah yang menjalankan keputusan klasifikasi dari ESP32 [6]. Sensor kapasitif dan sensor induktif berperan dalam proses pendeteksian dan klasifikasi, sedangkan motor servo menerapkan hasil keputusan tersebut melalui gerakan mekanis untuk mengarahkan sampah ke wadah logam atau nonlogam.

2.2.9 LCD 16C x 2

Liquid Crystal Display (LCD) merupakan perangkat keluaran (*output device*) yang digunakan untuk menampilkan informasi dalam bentuk karakter, angka, dan simbol. Pada penelitian ini digunakan LCD 16×2 yang dilengkapi dengan modul komunikasi I²C. Penggunaan komunikasi I²C memungkinkan LCD berkomunikasi dengan ESP32 melalui dua jalur utama, yaitu SDA (*Serial Data*) untuk pertukaran data dan SCL (*Serial Clock*) sebagai jalur clock komunikasi. Dengan metode tersebut, penggunaan pin GPIO pada ESP32 menjadi lebih efisien karena komunikasi LCD hanya memerlukan jalur SDA dan SCL. Pada **Gambar 2.8** merupakan LCD 16x2 yang digunakan.



Gambar 2. 8 LCD 16 x 2

Tabel 2. 9 Spesifikasi LCD 16 x 2

Parameter	Spesifikasi
Ukuran	2,26 inci
Catu Daya	5 V
Karakter	16

Parameter	Spesifikasi
Baris	2 baris
Arus	1mA

Tabel 2. 10 Pinout LCD

PIN LCD	PIN ESP32	FUNGSI
VCC	5V	Catu Daya
GND	GND	Ground
SDA	GPIO4	Jalur data I ² C
SCL	GPIO5	Jalur data I ² C

Pada **Tabel 2.9** merupakan spesifikasi LCD pada penelitian ini dan pada **Tabel 2.10** menunjukkan Pinout LCD yang terhubung dengan ESP32 DevKit V1 menggunakan GPIO4 sebagai SDA dan GPIO5 sebagai SCL. Jalur I²C tersebut juga digunakan oleh sensor INA219 karena kedua perangkat menggunakan komunikasi I²C. Konfigurasi pin tersebut sesuai dengan pengaturan pada program ESP32. LCD digunakan sebagai media untuk memberikan informasi mengenai kondisi sistem selama proses pemilahan berlangsung. Program menampilkan informasi jumlah sampah yang telah terdeteksi, persentase kapasitas masing-masing wadah, serta status proses deteksi dan pemilahan. Pada kondisi normal, LCD dapat menampilkan jumlah sampah logam dan nonlogam serta persentase isi Box A dan Box B.

Selain menampilkan kondisi normal, LCD juga digunakan untuk memberikan informasi ketika proses deteksi sedang berlangsung. Ketika objek terdeteksi, program menampilkan status pemeriksaan dan hasil klasifikasi objek, seperti informasi “LOGAM” atau “NONLOGAM”. Informasi tersebut membantu pengguna mengetahui proses yang sedang dilakukan oleh sistem secara langsung. LCD juga digunakan untuk memberikan informasi ketika wadah sampah telah mencapai kapasitas penuh. Program melakukan pemeriksaan terhadap persentase kapasitas Box A dan Box B sebelum proses pemilahan dilakukan. Apabila wadah yang sesuai telah penuh, sistem memberikan informasi melalui LCD dan tidak melanjutkan proses pemasukan sampah ke wadah tersebut.

Dengan demikian, LCD I²C 16×2 berfungsi sebagai media monitoring lokal pada sistem tong sampah pintar. LCD memberikan informasi secara langsung mengenai kondisi proses pemilahan dan kapasitas wadah, sedangkan monitoring melalui Blynk digunakan sebagai media pemantauan melalui jaringan internet.

2.2.10 Panel Surya

Panel surya (*solar photovoltaic module*) merupakan perangkat konversi energi yang berfungsi mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik arus searah (*Direct Current/DC*) melalui efek fotovoltaiik (*photovoltaic effect*). Efek fotovoltaiik terjadi ketika cahaya matahari mengenai material semikonduktor pada sel surya sehingga menghasilkan energi listrik. Energi yang dihasilkan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban maupun disimpan terlebih dahulu pada baterai melalui rangkaian pengendali pengisian (*solar charge controller*). Penggunaan panel surya sebagai sumber energi terbarukan dapat menjadi alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi konvensional.

Pada penelitian ini digunakan panel surya Anbolt dengan spesifikasi tegangan keluaran 5 Volt dan daya maksimum 10 Watt sebagai sumber energi utama pada sistem tong sampah pintar. Energi listrik yang dihasilkan panel surya dialirkan menuju modul CN3791 Solar Charger Controller untuk mengatur proses pengisian baterai Li-ion 18650. Energi yang tersimpan pada baterai selanjutnya digunakan sebagai sumber energi sistem dan melalui modul MT3608 DC Step-Up Converter untuk menghasilkan tegangan yang sesuai dengan kebutuhan perangkat. Tegangan tersebut digunakan untuk mendukung pengoperasian ESP32 DevKit V1, sensor ultrasonik HC-SR04, sensor proximity induktif, sensor proximity kapasitif, LCD I²C, dan motor servo MG90S. Pada **Tabel 2.11** merupakan spesifikasi Panel Surya

PTabel 2. 11 Spesifikasi Panel Surya

parameter	Spesifikasi
Model	ZO-718

parameter	Spesifikasi
Tegangan Operasi	5V
Daya	10W
Tegangan Output	6V
Ukuran Panel	188 x 276 mm
Panjang Kabel	2,4 m
Jenis Konektor	DC 5,5×2,1 mm, DC 3,0×1,1 mm, Mini USB, Micro USB, dan USB.



Gambar 2. 9 Panel Surya

panel surya pada **Gambar 2. 9** berperan sebagai sumber energi utama yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik untuk mendukung operasional sistem tong sampah pintar. Energi tersebut menjadi bagian dari sistem catu daya yang terdiri atas proses pengisian, penyimpanan, dan penyesuaian tegangan sebelum digunakan oleh perangkat elektronik. Energi yang dapat dihasilkan oleh panel surya diasumsikan penggunaan dan pengisian selama 9 jam tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$E_{panel} = P_{panel} \times t \quad (2.4)$$

Energi efektif panel dengan efisiensi 85% dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$E_{efektif} = E_{baterai} \times \eta \quad (2.5)$$

2.2.11 Daya dan Energi Panel Surya

Panel surya merupakan salah satu sumber energi listrik yang memanfaatkan radiasi matahari untuk menghasilkan energi listrik. Besarnya daya listrik yang dihasilkan dapat digunakan sebagai salah satu parameter untuk mengetahui kondisi keluaran sistem pembangkit. Nilai daya listrik berkaitan dengan besar tegangan dan arus yang dihasilkan pada suatu kondisi tertentu.

Secara umum, hubungan antara tegangan, arus, dan daya listrik dapat dinyatakan menggunakan **persamaan 2.6** berikut:

$$P = V \times I \quad (2.6)$$

Keterangan:

- P = daya listrik (Watt)
- V = tegangan listrik (Volt)
- I = arus listrik (Ampere)

Nilai daya yang dihasilkan oleh panel surya tidak selalu berada pada kondisi yang sama. Perubahan intensitas cahaya matahari, posisi panel terhadap sumber cahaya, kondisi lingkungan, serta karakteristik beban dapat menyebabkan tegangan dan arus yang diperoleh mengalami perubahan. Oleh karena itu, pengukuran parameter listrik secara langsung diperlukan untuk mengetahui kondisi sistem pada saat alat beroperasi. Nilai daya rata rata selama 24 jam dapat dihitung menggunakan **persamaan 2.7**

$$P_{panel} = \frac{E_{sistem}}{t \times \eta} \quad (2.7)$$

Keterangan :

- P_{panel} = daya panel surya (W)
- E_{sistem} = energi sistem (Wh)
- $t_{operasi}$ = waktu operasional panel (jam)
- η = efisiensi sistem (85%)

Energi pada sistem dapat di perhitungkan dengan persamaan 2.8 sebagai berikut :

$$E_i = P_i \times t_i \quad (2.8)$$

Keterangan :

- E_i = energi yang digunakan komponen ke- i (Wh)
- P_i = daya komponen ke- i (W)
- t_i = lama waktu operasi komponen ke- i (jam)

Dengan keseluruhan perhitungan energi setiap komponen kemudian energi kebutuhan keseluruhan sistem diperhitungkan dengan total semua energi setiap komponen dengan persamaan 2.9 sebagai berikut :

$$E_{sistem} = E_{total\ komponen} \quad (2.9)$$

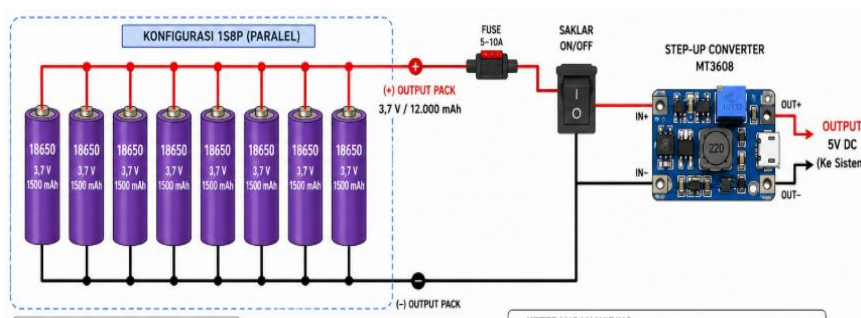
Pada penelitian ini, parameter kelistrikan dipantau menggunakan sensor INA219 yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 melalui komunikasi I²C. Sensor tersebut digunakan untuk memperoleh informasi berupa tegangan, arus, dan daya pada rangkaian listrik yang dipantau. Pada program, pembacaan parameter dilakukan menggunakan fungsi `getBusVoltage_V()`, `getCurrent_mA()`, dan `getPower_mW()`. Data tersebut selanjutnya diproses oleh ESP32 dan dikirimkan ke aplikasi Blynk sebagai bagian dari sistem monitoring. Pengukuran parameter daya dalam penelitian ini tidak digunakan untuk melakukan analisis karakteristik panel surya seperti penentuan Maximum Power Point (MPP) atau efisiensi panel. Pengukuran lebih difokuskan pada monitoring kondisi tegangan, arus, dan daya secara real-time sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi kelistrikan sistem melalui aplikasi Blynk.

Dengan demikian, pemantauan daya menjadi salah satu bagian pendukung dalam sistem tong sampah pintar berbasis ESP32. Data kelistrikan yang diperoleh dari INA219 dapat digunakan sebagai informasi tambahan untuk

mengetahui kondisi sumber dan catu daya selama sistem melakukan proses deteksi, pemilahan, serta pengiriman data monitoring.

2.2.12 Baterai Lithium-ion (Li-ion) 18650

Baterai Lithium-ion (Li-ion) 18650 merupakan jenis baterai isi ulang yang digunakan sebagai media penyimpanan energi listrik pada sistem. Baterai Li-ion memiliki kepadatan energi yang relatif tinggi serta tingkat *self-discharge* yang rendah, sehingga energi yang tersimpan dapat dipertahankan dalam jangka waktu tertentu ketika baterai tidak digunakan. Pada penelitian ini, baterai Li-ion 18650 digunakan sebagai sumber penyimpanan energi yang selanjutnya digunakan untuk menyuplai kebutuhan daya pada sistem. Ilustrasi Rangkaian ditunjukkan pada **Gambar 2.10**



Gambar 2. 10 Rangkaian Baterai ke Step Up

Tabel 2. 12 Spesifikasi Baterai Lithium 18650

Parameter	Spesifikasi
Kapasitas Nominal	2750 mAh
Tegangan Nominal	3,7 V
Arus Pengisian Max	1,5 A
Suhu Pengisian	0°C – 45°C
kandungan Energi/cell	4,8 Wh

Pada **Tabel 2.12** merupakan tabel spesifikasi baterai Lithium 18650. Delapan buah baterai Lithium-ion 18650 dengan kapasitas masing-masing sebesar 2.750 mAh dan tegangan nominal 3,7 V. Kedelapan baterai disusun secara paralel dengan konfigurasi 1S5P, yaitu seluruh kutub positif baterai dihubungkan menjadi

satu jalur positif dan seluruh kutub negatif dihubungkan menjadi satu jalur negatif. Konfigurasi tersebut mempertahankan tegangan nominal sebesar 3,7 V, sedangkan kapasitas total baterai menjadi lebih besar. Kapasitas daya total baterai dapat dihitung menggunakan **persamaan 2.10** berikut:

$$C_{total} = n \times C_{cell} \quad (2.10)$$

Energi nominal dapat dihitung menggunakan **persamaan 2.11** yang tersimpan pada baterai berdasarkan perkalian antara tegangan nominal dan kapasitas total baterai, yaitu :

$$E_{nominal} = V \times C \quad (2.11)$$

Dengan efisien (%), maka nilai dapat dihitung menggunakan **persamaan 2.12**

$$E_{efektif} = E_{baterai} \times \eta \quad (2.12)$$

2.2.13 Battery Management System (BMS)

Battery Management System (BMS) merupakan rangkaian elektronik yang berfungsi untuk mengelola, mengawasi, dan melindungi baterai. Dalam proses pengisian (charging) atau pengosongan daya (discharging). Modul BMS dirancang untuk menjaga kondisi baterai agar tetap bekerja pada batas tegangan dan arus aman sehingga dapat mengurangi risiko kerusakan akibat overcharge (tegangan berlebih), undercharge (tegangan terlalu rendah), overcurrent (arus berlebih), serta shortcircuit (hubungan singkat) [7].

Tabel 2. 13 Spesifikasi BMS

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Proteksi Overcharge	$4,25 \pm 0,05 \text{ V}$
Tegangan Pelepasan Overcharge	$4,23 \pm 0,05 \text{ V}$

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Proteksi Overdischarge	$2,54 \pm 0,1$ V
Arus Pengisian Kontinu Maksimum	2A
Arus Pelepasan Kontinu Maksimum	2A
Proteksi Arus Lebih (Overcurrent)	2A
Ukuran	$40 \times 4 \times 3$ mm

Pada Tabel 2.13 merupakan Spesifikasi BMS 1S yang diterapkan pada 5 buah baterai Lithium-ion 18650 dengan konfigurasi 1S5P (1 Series 5 Paralel). Dengan menerapkan konfigurasi tersebut menghasilkan tegangan nominal tetap sebesar 3,7 Volt, dengan mAh. BMS dipasang diantara baterai dan rangkaian catu daya sehingga seluruh proses pengisian baterai dan panel surya atau pengisian daya menuju beban melewati modul BMS terlebih dahulu sebagai proteksi.

2.2.14 Solar Charge Controller (CN3791)

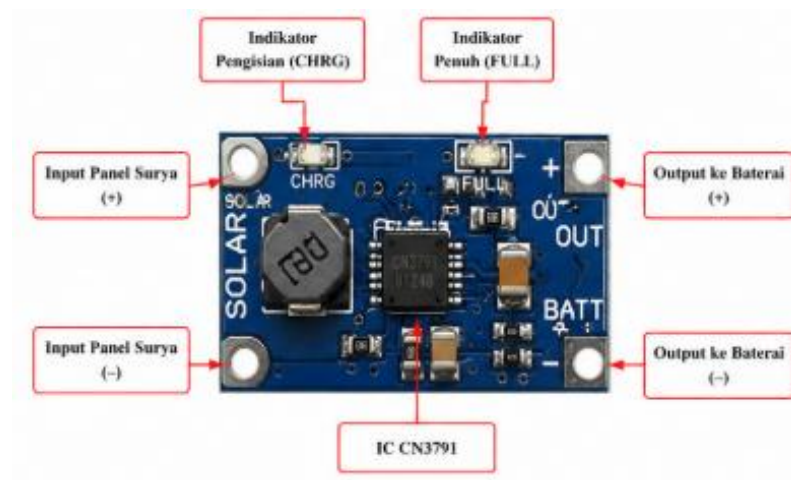
Merupakan modul pengendali pengisian baterai untuk mengatur proses pengisian baterai menggunakan sumber energi dari panel surya. Modul bekerja dengan mengendalikan tegangan dan arus pengisian agar sesuai dengan karakteristik baterai sehingga proses pengisian berlangsung secara aman, dengan metode pengisian (CC-CV) pada **Gambar 2.11** pengisian dengan arus konstan pada tahap awal dan dilanjutkan dengan tegangan konstan hingga baterai terisi penuh.

Pada penelitian ini SCC pada **Gambar 2.12** sebagai penghubung antara panel surya dengan baterai untuk meminimalkan risiko *overcharging* dan umur pakai baterai. Pada **Tabel 2.14** merupakan Tabel spesifikasi dari CN3791

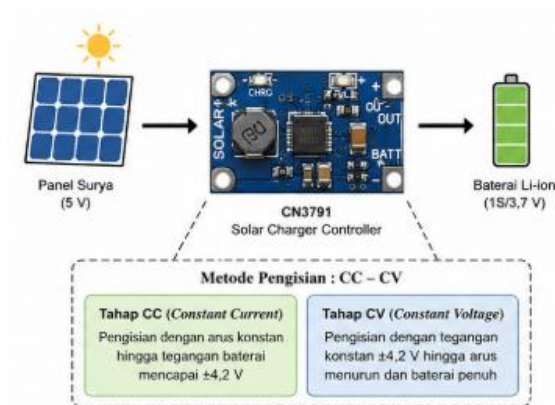
Tabel 2. 14 Spesifikasi CN3791

Parameter	Spesifikasi
Metode Pengisian	Photovoltaic Maximum Power Point Tracking (MPPT)
Tegangan Masukan	4,5 V – 28 V
Jenis Baterai	Baterai Lithium-ion 1 sel

Parameter	Spesifikasi
Arus Pengisian Maksimum	Hingga 4 A
Frekuensi Switching	300 kHz
Tegangan Konstan	4,2 V $\pm$ 1%
Pengaturan Arus Pengisian	Menggunakan resistor sensor arus
Pengkondisian Baterai	Otomatis untuk baterai kosong
Pengisian Ulang	Otomatis
Indikator Pengisian	Indikator status pengisian
Soft Start	Tersedia
Proteksi	Proteksi tegangan berlebih baterai
Suhu Operasi	-40°C hingga +85°C
Kemasan	SSOP 10-pin
Kepatuhan Material	Bebas Pb, sesuai RoHS, bebas halogen



Gambar 2. 11 CN3791

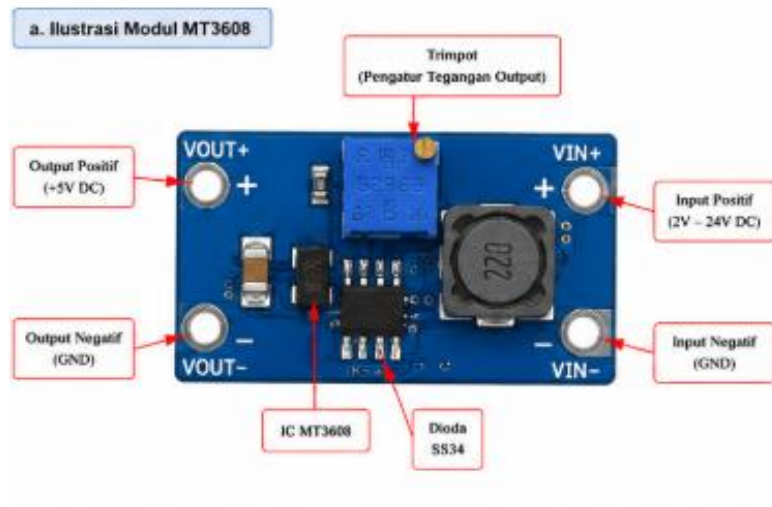


Gambar 2. 12 Metode Pengisian CN3791

2.2.15 MT3608 DC Step-Up Converter

Konverter ini merupakan DC-DC Tipe boost converter yang berfungsi untuk menaikkan tegangan masuk (input voltage) menjadi tegangan keluaran (output voltage) yang lebih tinggi [8]. Dengan menggunakan metode switching sehingga memiliki efisiensi konversi daya yang relative tinggi dibandingkan regulator linier. Tegangan keluarannya dapat diatur dengan menggunakan potensiometer (trimpot) yang terdapat pada modul **Gambar 2.13**

Pada penelitian ini menggunakan 1 buah step up digunakan untuk menaikkan tegangan keluaran dari baterai yang memiliki tegangan nominal sebesar 3,7 volt menjadi 5 volt DC. [9] Step 3A Untuk digunakan sebagai sumber catu daya ESP32 DevKit V1, sensor ultrasonik HC-SR04, sensor proximity induktif, sensor proximity kapasitif, LCD I2C. Pada **Gambar 2.14** terdapat alur kerja *Boost Converter*. Prinsip kerja Boost Converter ini dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.15**

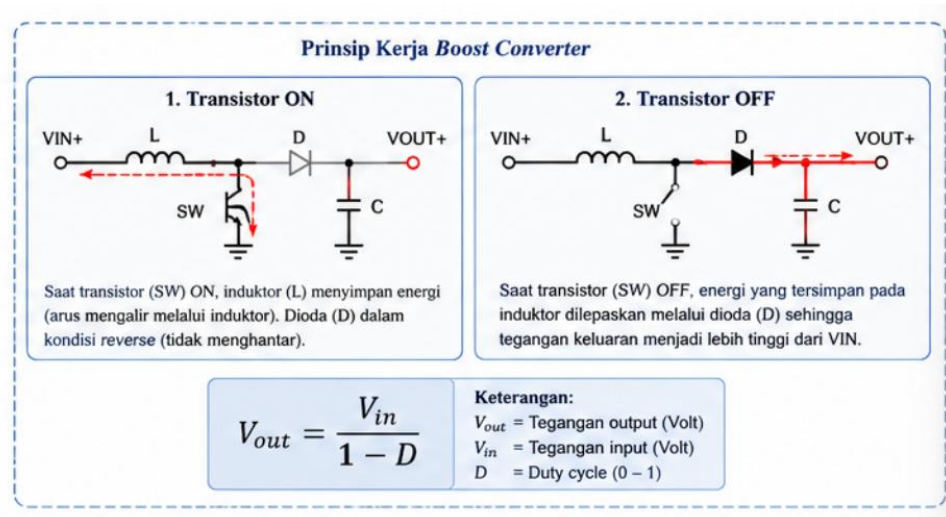


Gambar 2. 13 Modul MT3608



Gambar 2. 14 Ilustrasi Alur Kerja MT3608

Cara kerja prinsip kerja Boost Converter



Gambar 2. 15 Cara prinsip kerja Boost Converter

2.2.16 Step Up XL6019

DC Step-Up Converter XL6019 merupakan rangkaian konverter DC-DC yang digunakan untuk menaikkan tegangan masukan menjadi tegangan keluaran yang lebih tinggi sesuai dengan kebutuhan sistem. Pada penelitian ini, Step-Up Converter XL6019 digunakan pada bagian sistem catu daya untuk menyediakan tegangan 5 V yang digunakan sebagai sumber daya untuk dua buah servo MG996R. **Tabel 2.15** merupakan tabel spesifikasi XL6019.

Tabel 2. 15 Spesifikasi XL6091

Parameter	Spesifikasi
Jenis Konverter	DC/DC Boost Converter
Rentang Tegangan Masukan	5 V – 40 V
Frekuensi Switching	180 kHz
Arus Switching Maksimum	5.00 AM
Tegangan Referensi	1,25 V
Efisiensi Maksimum	Hingga 94%
Tegangan Keluaran	Dapat diatur

Parameter	Spesifikasi
Proteksi Tegangan Lebih	Tersedia
Fungsi Soft-Start	Tersedia
Proteksi Termal	Tersedia
Pembatas Arus	Tersedia
Kompensasi Frekuensi	Terintegrasi
MOSFET Daya	Terintegrasi
Jenis Kemasan IC	TO263-5L

Berdasarkan datasheet, XL6019 memiliki rentang tegangan masukan sebesar 5–40 V dengan frekuensi switching sebesar 180 kHz dan arus switching maksimum sebesar 5 A. Modul ini menggunakan sistem pengaturan tegangan dengan tegangan referensi sebesar 1,25 V. Selain itu, XL6019 memiliki efisiensi hingga 94% serta dilengkapi dengan fitur proteksi tegangan lebih, pembatas arus, perlindungan terhadap suhu berlebih, dan fungsi *soft-start*.

Pada perancangan sistem, keluaran Step-Up Converter XL6019 diatur menjadi 5 V untuk memenuhi kebutuhan tegangan servo MG996R. Sumber tegangan masukan berasal dari baterai Lithium-ion yang telah disusun secara paralel. Penggunaan Step-Up Converter diperlukan karena tegangan baterai lebih rendah dibandingkan dengan tegangan yang dibutuhkan oleh servo. Dengan demikian, tegangan dari baterai dinaikkan terlebih dahulu melalui XL6019 sebelum diberikan kepada servo.

2.2.17 Blynk IoT

Blynk IoT merupakan platform Internet of Things (IoT) yang digunakan sebagai media komunikasi antara mikrokontroler dan perangkat pengguna melalui jaringan internet. Platform ini menyediakan layanan Blynk Cloud yang memungkinkan data dari mikrokontroler dikirim, disimpan, dan ditampilkan pada aplikasi Blynk secara real-time melalui jaringan Wi-Fi. Dengan adanya layanan tersebut, pengguna dapat memantau kondisi sistem dari jarak jauh menggunakan perangkat smartphone tanpa harus berada di lokasi alat [9]. Blynk juga menyediakan berbagai widget yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem

monitoring sehingga informasi yang diterima pengguna dapat ditampilkan dalam bentuk angka, grafik, maupun indikator visual.

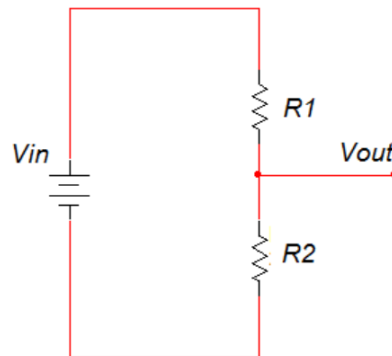


Gambar 2. 16 Logo Blynk

Pada **Gambar 2.16** penelitian ini, Blynk IoT diimplementasikan sebagai media monitoring pada sistem tong sampah pintar berbasis energi surya. ESP32 DevKit V1 berperan sebagai mikrokontroler yang mengolah data hasil pembacaan sensor, kemudian mengirimkannya ke Blynk Cloud melalui jaringan Wi-Fi menggunakan *Authentication Token* yang telah dikonfigurasi. Selanjutnya, data tersebut diteruskan ke aplikasi Blynk yang terpasang pada smartphone pengguna sehingga kondisi alat dapat dipantau secara real-time. Informasi yang ditampilkan pada aplikasi meliputi jumlah sampah logam, jumlah sampah nonlogam, persentase kapasitas tong sampah logam, dan persentase kapasitas tong sampah nonlogam. Pada penelitian ini, aplikasi Blynk hanya digunakan sebagai media monitoring sehingga tidak terdapat fungsi kendali (*control*) terhadap sistem. Dengan demikian, pengguna dapat memperoleh informasi mengenai kondisi tong sampah secara cepat dan akurat tanpa melakukan pemeriksaan secara langsung, sehingga proses pemantauan menjadi lebih efektif dan efisien.

2.2.18 Pembagi Tegangan (Voltage Divider)

Rangkaian pembagi tegangan atau *Voltage Divider* merupakan rangkaian yang dapat membuat tegangan listrik yang dilewati menjadi lebih kecil, dengan tujuan untuk mengatur tegangan output yang keluar pada rangkaian ke lebih kecil dari tegangan input.



Gambar 2. 17 Sistem Pembagi Tegangan

Pada **gambar 2. 17** penelitian ini, rangkaian *voltage divider* digunakan untuk menurunkan tegangan keluaran sensor proximity induktif dan proximity kapasitif bertipe PNP dari 5 Volt menjadi sekitar 3,3 Volt, sehingga sinyal keluaran sensor dapat diterima oleh pin input ESP32 DevKit V1 tanpa menimbulkan risiko kerusakan pada mikrokontroler.

Prinsip kerja *voltage divider* didasarkan pada pembagian tegangan oleh dua resistor yang disusun secara seri. Tegangan masukan (V_{in}) akan terbagi sesuai dengan nilai resistansi masing-masing resistor sehingga menghasilkan tegangan keluaran (V_{out}) yang nilainya lebih kecil daripada tegangan masukan. Besarnya tegangan keluaran dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.13

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.13)$$

Keterangan :

V_{out} = Tegangan keluaran (Volt)

V_{in} = Tegangan masukan (Volt)

R_1 = Nilai resistor pertama (Ω)

R_2 = Nilai resistor kedua (Ω)

Pada rangkaian antarmuka sensor digunakan tiga buah resistor 10 k Ω pada masing-masing sensor. Rangkaian resistor tersebut digunakan untuk menyesuaikan level tegangan sinyal keluaran sensor sebelum diteruskan ke GPIO ESP32.

Penyesuaian level tegangan dilakukan untuk menjaga agar **sinyal** yang diterima mikrokontroler berada pada tingkat tegangan yang sesuai dengan karakteristik GPIO ESP32 [10].

2.2.19 Sensor INA219

Sensor INA219 digunakan pada penelitian ini sebagai perangkat pengukuran parameter kelistrikan pada sistem. Sensor tersebut digunakan untuk memperoleh nilai tegangan, arus, dan daya pada rangkaian catu daya. Data hasil pengukuran kemudian dibaca oleh ESP32 melalui komunikasi I²C dan dimanfaatkan sebagai informasi pemantauan kondisi kelistrikan alat [11]. Pada **tabel 2.16** merupakan tabel spesifikasi sensor INA219

Tabel 2. 16 Spesifikasi Sensor INA219

Parameter	Spesifikasi
Jenis Sensor	Sensor monitor tegangan dan arus
Tegangan Bus yang Diukur	0–26 V
Rentang Tegangan Suplai	3–5,5 V
Antarmuka Komunikasi	I ² C
Pengukuran Arus	Melalui resistor shunt
Pengukuran Tegangan	Tegangan bus
Pengukuran Daya	Dapat dihitung dari hasil pengukuran tegangan dan arus
Resolusi ADC	Hingga 12-bit
Alamat I ² C	Dapat dikonfigurasi
Fungsi Utama	Monitoring tegangan, arus, dan daya

Tabel 2. 17 Pinout INA219 ke ESP32

PIN INA219	PIN ESP32	FUNGSI
VCC	5V	Catu Daya Modul
GND	GND	Ground
SDA	GPIO4	Jalur data I ² C
SCL	GPIO5	Jalur data I ² C

Pada tabel 2.17 merupakan Pinout INA219 yang dihubungkan pada ESP32 penelitian ini, INA219 digunakan untuk memantau tegangan, arus, dan daya pada keluaran sistem catu daya. Komunikasi I²C menggunakan SDA GPIO4 dan SCL GPIO5. Jalur I²C tersebut digunakan bersama dengan LCD karena INA219 dan LCD memiliki alamat I²C yang berbeda, yaitu INA219 0x40 dan LCD umumnya 0x27 atau 0x3F. Terminal VIN+ INA219 dihubungkan ke sisi positif sumber tegangan, sedangkan VIN- dihubungkan ke sisi positif beban. Data hasil pengukuran kemudian diproses oleh ESP32 dan digunakan untuk monitoring pada LCD dan Blynk secara *real-time*.

2.2.20 Arduino IDE

Arduino IDE digunakan sebagai perangkat lunak untuk membuat, melakukan verifikasi, dan mengunggah program ke ESP32 [12]. Pada penelitian ini, Arduino IDE digunakan untuk mengembangkan program yang mengatur pembacaan sensor, pengendalian servo dan LCD, serta komunikasi ESP32 dengan Blynk dan Google Spreadsheet.

Arduino IDE pada **Gambar 2.18** mendukung bahasa pemrograman berbasis C/C++ yang telah disederhanakan dengan menyediakan berbagai Pustaka sehingga memudahkan pengguna dalam mengendalikan sensor, actuator, maupun modul komunikasi. Dalam penelitian ini, Arduino IDE sebagai perangkat lunak utama untuk mengembangkan program yang mengatur seluruh proses kerja sistem. Program yang dibuat berfungsi untuk membaca data sensor, mengolah data yang diperoleh, serta mengendalikan kelauran sesuai dengan sistem yang telah dirancang. Penggunaan Arduino IDE digunakan karna bersifat *Open Source*, memiliki dokumentasi yang lengkap, papan Arduino yang mendukung beberapa jenis, serta banyak Pustaka yang mempermudah proses pengembangan sistem.



Gambar 2. 18 Logo Arduino IDE

2.2.21 Software Fritzing

Fritzing adalah perangkat lunak sumber terbuka dirancang khusus untuk merancang dan mendokumentasikan rangkaian elektronika. Fritzing dikembangkan untuk membantu pengguna, dalam membuat skema rangkaian secara visual sehingga lebih mudah dipahami dan diimplementasikan. Fritzing menyediakan beberapa tampilan komponen yang memungkinkan pengguna merancang rangkaian dari tahap prototipe hingga desain papan sirkuit cetak (Printed Circuit Board atau PCB) [13].

Dalam penelitian ini, Fritzing pada **gambar 2.19** digunakan untuk merancang dan mendokumentasikan rangkaian perangkat keras. Diagram rangkaian dihasilkan Fritzing ini sebagai acuan dalam proses perakitan perangkat sehingga meminimalkan kesalahan dalam pemasangan komponen dan mempermudah proses analisis maupun reproduksi sistem oleh peneliti lain.



Gambar 2. 19 Logo Fritzing