

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Celengan Digital

Celengan digital merupakan pengembangan dari celengan konvensional yang memanfaatkan teknologi elektronika dan *Internet of Things (IoT)* untuk meningkatkan fungsi penyimpanan uang menjadi lebih modern, aman, dan informatif. Berbeda dengan celengan konvensional yang hanya berfungsi sebagai media penyimpanan uang, celengan digital mampu mengidentifikasi nominal uang yang dimasukkan, menghitung total tabungan secara otomatis, serta menampilkan informasi tabungan kepada pengguna secara *real-time*. Selain itu, celengan digital juga dapat dilengkapi dengan sistem keamanan, media *monitoring*, serta penyimpanan data sehingga aktivitas menabung menjadi lebih efektif dan terstruktur. Dengan memanfaatkan mikrokontroler sebagai pusat kendali, berbagai sensor sebagai perangkat masukan, serta media komunikasi berbasis *Internet*, celengan digital mampu memberikan pengalaman menabung yang lebih praktis dan sesuai dengan perkembangan teknologi saat ini. (Komarudin et al., 2024).

Pada penelitian ini, celengan digital dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali sistem, sensor warna TCS34725 untuk mengidentifikasi nominal uang kertas Rupiah, serta motor servo sebagai mekanisme pembukaan celengan menggunakan *Personal Identification Number (PIN)*. Seluruh data tabungan dikirim menggunakan protokol *Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)* menuju server berbasis *Node.js* yang berjalan pada

Virtual Private Server (VPS) untuk disimpan ke dalam basis data *MySQL*. Selanjutnya, pengguna dapat memantau jumlah tabungan, melihat riwayat tabungan setiap siklus, melakukan perubahan *PIN*, serta menerima notifikasi apabila terjadi percobaan pembukaan celengan menggunakan *PIN* yang salah melalui *WhatsApp Bot*. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai media penyimpanan uang, tetapi juga sebagai sistem *monitoring* dan pengelolaan tabungan berbasis *Internet of Things (IoT)* yang terintegrasi (Rusnanda Assidiq et al., 2025b).

2.2 Internet of Things (IoT)

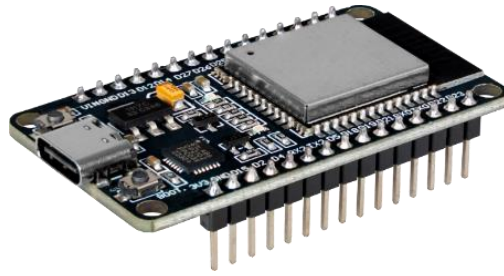
Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang menghubungkan berbagai perangkat fisik melalui jaringan *Internet* sehingga mampu saling berkomunikasi, bertukar data, dan menjalankan fungsi tertentu secara otomatis tanpa memerlukan interaksi manusia secara langsung. Implementasi *IoT* memanfaatkan berbagai komponen seperti sensor, aktuator, mikrokontroler, serta media komunikasi untuk mengumpulkan, mengirim, dan mengolah data secara *real-time*. Teknologi ini telah banyak diterapkan pada berbagai bidang, seperti *smart home*, kesehatan, industri, pertanian, hingga sistem keamanan karena mampu meningkatkan efisiensi, efektivitas, serta kemudahan dalam proses pemantauan dan pengendalian perangkat dari jarak jauh. (Haerul Putri, 2025)

Pada penelitian ini, penerapan *Internet of Things (IoT)* diwujudkan melalui komunikasi data antara ESP32 dan *server* berbasis *Node.js* menggunakan protokol *Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)*. Data hasil pembacaan sensor warna TCS34725 dikirim menuju *server* untuk disimpan ke dalam basis data *MySQL* serta diproses menjadi informasi yang dapat diakses pengguna melalui

WhatsApp Bot. Selain berfungsi sebagai media *monitoring* jumlah tabungan secara *real-time*, sistem juga mampu menyimpan riwayat tabungan setiap siklus, mengirimkan notifikasi apabila terjadi percobaan pembukaan celengan menggunakan *PIN* yang salah, serta menyediakan fitur penggantian *PIN* melalui *WhatsApp Bot*. Dengan demikian, penerapan *IoT* pada penelitian ini tidak hanya berfungsi sebagai media komunikasi data, tetapi juga sebagai sistem pengelolaan dan pengendalian celengan digital yang terintegrasi.

2.3 Mikrokontroler (ESP32)

ESP32 merupakan mikrokontroler modern yang memiliki kemampuan pemrosesan tinggi dengan konsumsi daya yang relatif rendah (Jalaludin & Laksmiati, 2023). Perangkat ini dilengkapi dengan prosesor dual-core yang mampu menangani beberapa proses secara bersamaan. ESP32 juga memiliki memori flash dan RAM yang cukup besar untuk mendukung program dengan logika yang kompleks. Selain itu, ESP32 sudah terintegrasi dengan modul WiFi dan Bluetooth sehingga tidak memerlukan perangkat tambahan untuk konektivitas nirkabel. Dukungan berbagai pin input dan output membuat ESP32 fleksibel untuk dihubungkan dengan beragam sensor dan modul. ESP32 mendukung berbagai protokol komunikasi seperti I2C, SPI, dan UART. Kemudahan pemrograman menggunakan Arduino IDE atau platform lain menjadi nilai tambah dari mikrokontroler ini. Stabilitas dan keandalan ESP32 membuatnya banyak digunakan pada sistem tertanam berbasis IoT.



Gambar 2. 1 Mikrokontroller ESP32

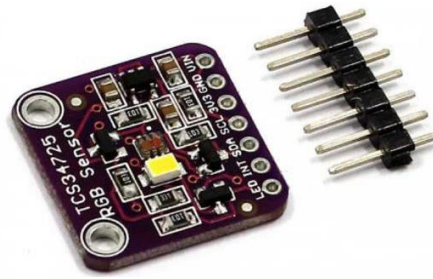
ESP32 berperan sebagai pusat pengendali yang mengatur seluruh proses kerja celengan digital. Semua data dari sensor warna diterima dan diolah oleh mikrokontroler ini. Informasi jumlah uang dan total tabungan diproses secara logis sebelum ditampilkan ke LCD. Input PIN yang dimasukkan melalui keypad dibaca dan diverifikasi oleh ESP32. Mikrokontroler ini juga mengendalikan buzzer dan LED indikator sebagai penanda kondisi sistem. Integrasi berbagai komponen dapat berjalan secara terkoordinasi karena kemampuan multitasking yang dimiliki ESP32. Pemanfaatan komunikasi I2C mempermudah koneksi dengan LCD dan sensor warna. Program yang tertanam memungkinkan sistem bekerja secara otomatis dan responsif. Keandalan ESP32 memastikan sistem dapat berjalan stabil dalam jangka waktu yang lama. Peran sentral ini menjadikan ESP32 komponen utama dalam keseluruhan rancangan alat (Bakti et al., 2024).

ESP32 juga memiliki kemampuan konektivitas nirkabel seperti WiFi dan Bluetooth yang memungkinkan pengembangan sistem menjadi lebih luas. Fitur ini dapat dimanfaatkan untuk mengirimkan data tabungan ke perangkat lain seperti smartphone melalui aplikasi tertentu. Selain itu, ESP32 memiliki jumlah pin GPIO yang cukup banyak sehingga mampu menangani berbagai input dan output secara bersamaan. Dukungan terhadap berbagai library memudahkan proses pengembangan dan integrasi dengan berbagai sensor maupun modul tambahan.

Kemampuan pemrosesan yang cepat memungkinkan sistem merespons input secara real time tanpa keterlambatan yang signifikan. ESP32 juga mendukung mode hemat daya yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi energi. Fleksibilitas dalam pemrograman menjadikan mikrokontroler ini mudah dikembangkan sesuai kebutuhan sistem. Dengan fitur yang lengkap, ESP32 mampu mendukung pengembangan perangkat berbasis IoT yang lebih canggih. Hal ini menjadikan sistem celengan digital memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut. Kombinasi antara performa, fleksibilitas, dan konektivitas menjadikan ESP32 sebagai solusi yang sangat ideal dalam perancangan alat ini.

2.4 Sensor Warna (TCS34725)

TCS34725 adalah sensor warna digital yang mampu mendeteksi intensitas warna merah, hijau, biru, dan cahaya jernih. Sensor ini dilengkapi dengan filter inframerah sehingga pembacaan warna menjadi lebih akurat (Nur Alfian & Ramadhan, 2022). TCS34725 menggunakan komunikasi I2C yang efisien dan mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler. Sensor ini memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan warna. Kemampuan mendeteksi warna secara presisi membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi identifikasi objek. TCS34725 juga mampu bekerja dengan baik pada kondisi cahaya yang bervariasi. Modul ini relatif stabil dan tidak mudah terpengaruh noise cahaya sekitar. Konsumsi daya yang rendah menjadikannya efisien untuk sistem elektronik kecil. Ukurannya yang ringkas memudahkan pemasangan pada perangkat dengan desain kompak. Sensor ini banyak digunakan dalam aplikasi edukasi dan industri ringan.



Gambar 2. 2. Sensor Warna (TCS34725)

TCS34725 digunakan untuk mendeteksi warna uang yang dimasukkan ke dalam celengan. Setiap warna yang terbaca dapat dikaitkan dengan nilai nominal tertentu. Data warna dikirim ke ESP32 untuk diolah menjadi informasi nominal uang. Proses ini memungkinkan sistem menghitung jumlah uang secara otomatis. Akurasi sensor membantu mengurangi kesalahan pembacaan nominal. Informasi yang diperoleh kemudian ditambahkan ke total tabungan. Sensor ini memungkinkan celengan bekerja tanpa input manual dari pengguna. Penggunaan sensor warna membuat sistem lebih interaktif dan modern. Pembacaan yang konsisten meningkatkan keandalan perhitungan tabungan. Komponen ini berperan penting dalam mendukung fungsi utama celengan digital.

TCS34725 juga memiliki kemampuan membaca intensitas warna secara detail melalui komponen RGB dan clear light yang dihasilkan dari objek yang dideteksi. Kemampuan ini memungkinkan sistem membedakan warna uang dengan lebih presisi meskipun terdapat variasi kondisi pencahayaan. Sensor ini bekerja menggunakan komunikasi I2C sehingga memudahkan proses integrasi dengan ESP32. Selain itu, adanya filter inframerah membantu meningkatkan akurasi pembacaan dengan mengurangi gangguan dari cahaya luar. Proses kalibrasi dapat dilakukan untuk menyesuaikan pembacaan sensor dengan kondisi nyata. Hal ini penting agar sistem dapat mengenali berbagai jenis uang dengan

lebih baik. Kecepatan respon sensor juga mendukung proses pembacaan secara real time. Penggunaan sensor ini membuat sistem menjadi lebih efisien karena tidak memerlukan input manual. Dengan tingkat akurasi yang tinggi, kemungkinan kesalahan dalam identifikasi nominal dapat diminimalkan. Komponen ini memberikan kontribusi besar dalam meningkatkan kinerja dan keandalan celengan digital.

2.5 Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) merupakan protokol komunikasi ringan (*lightweight messaging protocol*) yang dirancang untuk mendukung pertukaran data pada sistem *Internet of Things (IoT)*. Protokol ini menggunakan metode *publish-subscribe*, yaitu mekanisme komunikasi yang melibatkan *broker* sebagai perantara antara perangkat pengirim data (*publisher*) dan perangkat penerima data (*subscriber*). Dengan ukuran *header* yang kecil dan penggunaan *bandwidth* yang rendah, *MQTT* mampu mengirimkan data secara cepat dan efisien sehingga sangat sesuai diterapkan pada perangkat *IoT* yang memiliki keterbatasan sumber daya maupun koneksi jaringan. Selain itu, *MQTT* mendukung komunikasi dua arah (*bidirectional communication*) yang memungkinkan proses *monitoring* dan pengendalian perangkat dilakukan secara *real-time* (Keiza Zein et al., 2024b).

Pada penelitian ini, protokol *Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)* digunakan sebagai media komunikasi antara ESP32 dan server berbasis *Node.js* yang berjalan pada *Virtual Private Server (VPS)*. ESP32 berperan sebagai *publisher* yang mengirimkan data hasil pembacaan sensor warna, status

otentikasi *PIN*, serta informasi jumlah tabungan menuju *broker MQTT*. Selanjutnya, *server* akan berperan sebagai *subscriber* untuk menerima data tersebut, menyimpannya ke dalam basis data *MySQL*, serta mengolahnya menjadi informasi yang dikirimkan melalui *WhatsApp Bot*. Sebaliknya, ketika pengguna memberikan perintah melalui *WhatsApp Bot*, seperti melihat jumlah tabungan, mengganti *PIN*, atau meminta riwayat tabungan, *server* akan mengirimkan perintah kembali ke ESP32 melalui *broker MQTT*. Dengan mekanisme tersebut, komunikasi data antara perangkat, *server*, dan pengguna dapat berlangsung secara cepat, stabil, dan *real-time* (Ali Makhrus - et al., 2025).

2.6 LCD 12 C

LCD I2C merupakan perangkat tampilan yang digunakan untuk menampilkan informasi dalam bentuk teks. Modul ini memanfaatkan komunikasi I2C sehingga hanya memerlukan sedikit jalur kabel (Sunardi & Setiawan, 2022). LCD biasanya menampilkan karakter alfanumerik dengan ukuran yang mudah dibaca. Penggunaan antarmuka I2C membuat rangkaian menjadi lebih rapi dan sederhana. LCD jenis ini umum digunakan pada proyek mikrokontroler. Konsumsi dayanya relatif rendah sehingga efisien untuk sistem kecil. LCD mampu menampilkan berbagai informasi seperti angka, huruf, dan simbol sederhana. Kecepatan tampilan cukup responsif terhadap perubahan data. Modul ini mudah diprogram menggunakan pustaka yang tersedia. Keandalannya membuat LCD I2C menjadi pilihan utama untuk tampilan informasi.



Gambar 2. 3 LCD 12C

LCD digunakan untuk menampilkan jumlah uang yang baru dimasukkan ke dalam celengan. Informasi total tabungan juga ditampilkan secara real time. Tampilan ini membantu pengguna memantau perkembangan tabungan dengan mudah. Data yang ditampilkan berasal dari hasil pengolahan ESP32. LCD memberikan umpan balik visual yang jelas kepada pengguna. Keberadaan layar meningkatkan interaksi antara alat dan pengguna. Informasi PIN yang dimasukkan juga dapat ditampilkan sebagai konfirmasi. Tampilan yang konsisten membantu pengguna memahami status sistem. LCD menjadi media utama penyampaian informasi dari sistem. Perannya sangat penting dalam meningkatkan kenyamanan penggunaan alat.

LCD juga mampu menampilkan berbagai format informasi seperti teks, angka, dan simbol sederhana yang mendukung kebutuhan sistem. Penggunaan modul I2C membuat jumlah kabel yang digunakan menjadi lebih sedikit sehingga rangkaian lebih rapi dan mudah dirakit. LCD memiliki tingkat keterbacaan yang baik dalam berbagai kondisi pencahayaan. Pengaturan kontras dapat dilakukan agar tampilan lebih jelas sesuai kebutuhan. Kecepatan refresh layar memungkinkan perubahan data ditampilkan secara langsung tanpa jeda yang signifikan. LCD juga relatif hemat daya sehingga cocok digunakan pada sistem

elektronik sederhana. Dukungan library yang luas memudahkan proses pemrograman dan integrasi dengan ESP32. Dengan tampilan yang stabil, pengguna dapat dengan mudah memahami informasi yang diberikan. LCD membantu meningkatkan pengalaman pengguna dalam berinteraksi dengan alat. Keberadaan komponen ini memperkuat fungsi sistem sebagai media informasi yang akurat dan mudah dipahami.

2.7 Basis Data MySQL

Basis data *MySQL* merupakan *Relational Database Management System (RDBMS)* yang digunakan untuk menyimpan, mengelola, dan memproses data secara terstruktur menggunakan bahasa *Structured Query Language (SQL)*. *MySQL* memiliki keunggulan berupa kecepatan dalam pengolahan data, keamanan yang baik, kemudahan dalam pengelolaan, serta bersifat *open source* sehingga banyak digunakan dalam pengembangan sistem informasi maupun aplikasi berbasis *web* dan *Internet of Things (IoT)*. Selain mampu menangani data dalam jumlah besar, *MySQL* juga mendukung hubungan antar tabel (*relational database*) sehingga proses penyimpanan dan pencarian data menjadi lebih efisien serta meminimalkan terjadinya duplikasi data. Oleh karena itu, *MySQL* menjadi salah satu sistem manajemen basis data yang banyak diterapkan pada berbagai aplikasi yang memerlukan penyimpanan data secara terpusat dan terintegrasi (Vinatalia Dachi & Suhada, 2025).

Pada penelitian ini, basis data *MySQL* digunakan sebagai media penyimpanan seluruh informasi yang dihasilkan oleh sistem celengan digital. Data yang disimpan meliputi jumlah tabungan, riwayat tabungan pada setiap siklus menabung, data *PIN* pengguna, waktu transaksi, serta informasi aktivitas sistem

yang diterima dari ESP32 melalui protokol *Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)*. Seluruh data tersebut dikelola oleh server berbasis *Node.js* yang berjalan pada *Virtual Private Server (VPS)* sehingga dapat diakses oleh *WhatsApp Bot* untuk menampilkan informasi jumlah tabungan, riwayat tabungan, melakukan perubahan *PIN*, maupun memberikan notifikasi apabila terjadi percobaan pembukaan celengan menggunakan *PIN* yang salah. Penggunaan basis data *MySQL* pada penelitian ini diharapkan mampu menjaga konsistensi data, mempermudah proses pengelolaan informasi, serta mendukung proses *monitoring* secara *real-time*.

2.8 WhatsApp Bot

WhatsApp Bot merupakan sistem otomatis yang memanfaatkan *Application Programming Interface (API)* atau pustaka (*library*) tertentu untuk menerima, memproses, dan mengirimkan pesan melalui aplikasi *WhatsApp*. Berbeda dengan penggunaan *WhatsApp* sebagai media komunikasi biasa, *WhatsApp Bot* mampu memberikan respons secara otomatis terhadap perintah yang dikirimkan oleh pengguna sehingga dapat dimanfaatkan sebagai media *monitoring*, pengendalian perangkat, maupun penyampaian informasi secara *real-time*. Seiring dengan perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)*, *WhatsApp Bot* banyak diterapkan sebagai antarmuka (*user interface*) karena mudah digunakan, memiliki jangkauan yang luas, serta tidak memerlukan pengguna untuk memasang aplikasi tambahan selain *WhatsApp*. Selain itu, integrasi *WhatsApp Bot* dengan server berbasis *Node.js* memungkinkan proses pertukaran data berlangsung secara cepat dan fleksibel sehingga sesuai untuk berbagai aplikasi berbasis *IoT* (Adnan Buyung Nasution et al., 2024).

Pada penelitian ini, *WhatsApp Bot* berfungsi sebagai media interaksi antara pengguna dengan sistem celengan digital. Melalui *WhatsApp Bot*, pengguna dapat melihat jumlah tabungan yang tersimpan, melihat riwayat tabungan pada setiap siklus menabung, melakukan perubahan *Personal Identification Number (PIN)*, serta menerima notifikasi apabila terjadi penambahan tabungan maupun percobaan pembukaan celengan menggunakan *PIN* yang salah. Seluruh proses komunikasi dilakukan melalui *server* berbasis *Node.js* yang berjalan pada *Virtual Private Server (VPS)* dengan memanfaatkan protokol *Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)* sebagai media komunikasi antara *server* dan ESP32. Dengan demikian, *WhatsApp Bot* tidak hanya berfungsi sebagai media notifikasi, tetapi juga sebagai antarmuka utama (*user interface*) yang memungkinkan pengguna melakukan *monitoring* dan pengelolaan sistem celengan digital secara *real-time* (Jauza Rosyad & Warih Utami SKom MKom, 2024).

2.9 Keypad Matriks 4x4

Keypad matriks 4x4 merupakan perangkat input yang terdiri dari enam belas tombol. Setiap tombol mewakili karakter angka atau fungsi tertentu. Keypad ini banyak digunakan pada sistem keamanan dan kontrol akses. Penggunaan matriks memungkinkan penghematan jumlah pin mikrokontroler. Keypad mudah diintegrasikan dengan berbagai jenis mikrokontroler. Material tombol cukup kuat untuk penggunaan berulang. Respons tombol relatif cepat dan akurat. Keypad memungkinkan input data secara langsung dari pengguna. Ukurannya ringkas sehingga tidak memakan banyak ruang. Perangkat ini umum digunakan pada sistem berbasis PIN.



Gambar 2. 4 Keypad Matriks 4x4

Keypad digunakan sebagai media input PIN untuk membuka celengan. Setiap tombol yang ditekan dibaca oleh ESP32 sebagai data input. Sistem akan mencocokkan PIN yang dimasukkan dengan PIN yang tersimpan. Jika PIN benar, sistem memberikan akses pembukaan celengan. Jika PIN salah, sistem dapat memberikan peringatan melalui buzzer atau LED. Penggunaan keypad meningkatkan keamanan penyimpanan uang. Input manual ini memberikan kontrol penuh kepada pengguna. Keypad juga dapat digunakan untuk proses reset sistem. Interaksi pengguna menjadi lebih terstruktur dan aman. Perangkat ini berperan penting dalam mekanisme pengamanan celengan.

Keypad matriks 4x4 juga memiliki struktur tombol yang tersusun dalam baris dan kolom sehingga memungkinkan pembacaan input dengan efisien menggunakan jumlah pin yang lebih sedikit. Setiap tombol memiliki kode unik yang dapat diprogram sesuai kebutuhan sistem. Material tombol dirancang cukup kuat untuk penggunaan berulang dalam jangka waktu lama. Respons penekanan tombol tergolong cepat sehingga input dapat diproses tanpa keterlambatan. Keypad ini mudah diintegrasikan dengan ESP32 melalui teknik scanning matriks. Selain itu, penggunaannya tidak memerlukan komponen tambahan yang

kompleks. Keypad juga memungkinkan penambahan fitur seperti penggantian PIN untuk meningkatkan fleksibilitas sistem. Dengan desain yang sederhana, perangkat ini mudah dipahami oleh berbagai kalangan pengguna. Keandalan dalam membaca input menjadikan keypad sebagai komponen yang stabil. Komponen ini mendukung sistem keamanan agar dapat berjalan dengan baik dan terkontrol.

2.10 Buzzer

Buzzer merupakan komponen elektronik yang berfungsi menghasilkan bunyi. Komponen ini biasanya digunakan sebagai indikator suara. Buzzer dapat menghasilkan suara dengan intensitas yang cukup jelas (Rahman et al., 2022). Konsumsi daya buzzer relatif kecil. Pengendaliannya mudah karena hanya membutuhkan sinyal digital. Buzzer sering digunakan pada sistem peringatan dan notifikasi. Suara yang dihasilkan dapat diatur durasinya. Buzzer membantu memberikan respons cepat kepada pengguna. Komponen ini memiliki ukuran yang kecil dan ringan. Keandalannya membuat buzzer banyak digunakan pada proyek mikrokontroler.



Gambar 2. 5 Buzzer

Buzzer digunakan sebagai penanda ketika PIN dimasukkan. Suara dapat menandakan PIN benar atau salah. Buzzer juga dapat berbunyi saat uang berhasil

terdeteksi. Notifikasi suara membantu pengguna mengetahui status sistem tanpa melihat layar (Suparman et al., 2022). Penggunaan buzzer meningkatkan interaksi antara alat dan pengguna. Suara peringatan dapat mencegah kesalahan penggunaan. Buzzer membantu memberikan umpan balik secara instan. Sistem menjadi lebih informatif dan responsif. Keberadaan buzzer meningkatkan kenyamanan penggunaan alat. Komponen ini mendukung fungsi indikator pada celengan digital (Fawwazna et al., 2024).

Buzzer juga memiliki kemampuan menghasilkan berbagai pola bunyi yang dapat disesuaikan dengan kondisi tertentu dalam sistem. Misalnya, bunyi pendek dapat digunakan sebagai tanda input berhasil, sedangkan bunyi panjang dapat menunjukkan kesalahan. Komponen ini bekerja dengan sinyal digital dari ESP32 sehingga mudah dikendalikan melalui program. Konsumsi daya buzzer relatif rendah sehingga tidak membebani sistem secara keseluruhan. Ukurannya yang kecil membuatnya mudah dipasang pada rangkaian tanpa memerlukan ruang yang besar. Buzzer dapat memberikan respon secara langsung tanpa jeda yang signifikan. Penggunaan buzzer juga membantu pengguna yang tidak selalu memperhatikan tampilan visual. Integrasi dengan komponen lain seperti LED membuat sistem indikator menjadi lebih lengkap. Buzzer dapat diatur intensitas dan durasi bunyinya sesuai kebutuhan. Dengan demikian, keberadaan buzzer memberikan nilai tambah dalam meningkatkan efektivitas komunikasi antara sistem dan pengguna.

2.11 LED Indikator

LED indikator merupakan komponen elektronik yang berfungsi sebagai penanda visual pada suatu sistem. LED bekerja dengan mengubah energi listrik

menjadi cahaya ketika dialiri arus Listrik (Kurniawan & Surahman, 2021). Komponen ini memiliki konsumsi daya yang sangat rendah sehingga efisien digunakan dalam perangkat elektronik skala kecil. LED tersedia dalam berbagai warna seperti merah, hijau, kuning, dan biru yang masing-masing dapat merepresentasikan kondisi tertentu. Umur pakai LED tergolong panjang dibandingkan indikator cahaya lainnya. Ukurannya yang kecil memudahkan pemasangan pada rangkaian dengan ruang terbatas. LED memiliki respons yang sangat cepat terhadap perubahan sinyal listrik. Intensitas cahaya LED cukup jelas untuk dilihat dalam kondisi pencahayaan normal. LED juga relatif tahan terhadap getaran dan penggunaan jangka panjang. Karakteristik tersebut menjadikan LED sebagai indikator yang umum digunakan pada berbagai sistem elektronik.



Gambar 2. 6 LED Indikator

LED indikator berfungsi untuk menunjukkan status kerja sistem celengan digital. Cahaya LED dapat digunakan untuk menandakan bahwa sistem dalam kondisi aktif. Warna tertentu dapat menunjukkan keberhasilan atau kegagalan input PIN. LED juga dapat menyala ketika uang berhasil terdeteksi oleh sensor warna. Indikator visual ini membantu pengguna memahami kondisi alat tanpa harus membaca tampilan LCD. Penggunaan LED meningkatkan kejelasan informasi yang disampaikan oleh sistem. LED bekerja secara sinkron dengan komponen lain seperti buzzer. Keberadaan LED membuat interaksi pengguna

dengan alat menjadi lebih intuitif. Status sistem dapat dikenali dengan cepat melalui cahaya yang ditampilkan. Hal ini mendukung kenyamanan dan keamanan dalam penggunaan celengan digital.

LED indikator juga memiliki kemampuan untuk menyala dengan intensitas cahaya yang stabil sehingga mudah terlihat oleh pengguna. Komponen ini dapat dikonfigurasi menggunakan berbagai warna untuk merepresentasikan kondisi sistem yang berbeda. Pengendalian LED dilakukan melalui pin digital pada ESP32 sehingga prosesnya sederhana dan efisien. LED memiliki waktu respon yang sangat cepat terhadap perubahan sinyal. Konsumsi daya yang rendah membuat LED tidak membebani sistem secara keseluruhan. Selain itu, LED memiliki umur pakai yang panjang sehingga tidak memerlukan penggantian dalam waktu dekat. Penggunaan LED dapat dikombinasikan dengan pola nyala tertentu seperti berkedip untuk memberikan informasi tambahan. Komponen ini juga tahan terhadap penggunaan berulang dalam jangka waktu lama. Integrasi LED dengan sistem membuat indikator menjadi lebih jelas dan mudah dipahami. Dengan demikian, LED indikator memberikan kontribusi penting dalam meningkatkan efektivitas komunikasi visual antara sistem dan pengguna.

2.12 Kabel Jumper

Kabel jumper merupakan kabel penghubung yang digunakan untuk menyambungkan antar komponen elektronik (Sutiari, 2024). Kabel ini banyak digunakan pada rangkaian berbasis breadboard. Kabel jumper tersedia dalam beberapa jenis konektor. Warna kabel yang berbeda membantu identifikasi jalur koneksi. Kabel jumper bersifat fleksibel dan mudah digunakan. Penggunaannya tidak memerlukan proses penyolderan. Kabel ini sangat cocok untuk tahap

perancangan dan pengujian rangkaian. Kabel jumper memungkinkan perubahan koneksi dengan cepat. Panjang kabel bervariasi sesuai kebutuhan. Kepraktisan ini menjadikan kabel jumper sangat populer dalam proyek elektronika.



Gambar 2. 7. Kabel Jumper

Kabel jumper digunakan untuk menghubungkan ESP32 dengan sensor warna, LCD, keypad, dan komponen lainnya. Sambungan ini memungkinkan pertukaran data dan sinyal listrik. Kabel jumper membantu menjaga rangkaian tetap rapi. Proses perakitan menjadi lebih cepat dan efisien. Kesalahan koneksi dapat diperbaiki dengan mudah. Kabel jumper mendukung fleksibilitas desain sistem. Rangkaian dapat dimodifikasi tanpa merusak komponen. Hal ini sangat membantu dalam proses pengujian alat. Koneksi antar modul menjadi lebih praktis. Kabel jumper berperan penting dalam mendukung proses pengembangan sistem.

Resistor juga berfungsi sebagai pembagi tegangan dalam rangkaian yang membutuhkan distribusi tegangan ke beberapa komponen. Komponen ini sering digunakan untuk menyesuaikan level sinyal agar sesuai dengan kebutuhan input mikrokontroler seperti ESP32. Selain itu, resistor dapat membantu mengurangi

noise pada sinyal sehingga komunikasi antar komponen menjadi lebih stabil. Penggunaan resistor dalam rangkaian sederhana hingga kompleks menunjukkan fleksibilitasnya dalam berbagai aplikasi elektronika. Nilai hambatan yang tepat sangat menentukan kinerja sistem secara keseluruhan. Resistor juga memiliki toleransi nilai yang perlu diperhatikan dalam perancangan. Komponen ini bekerja secara konsisten tanpa dipengaruhi oleh kondisi lingkungan secara signifikan. Dengan ukuran yang kecil, resistor tidak memakan banyak ruang dalam rangkaian. Keberadaannya sering dianggap sederhana, namun memiliki dampak besar terhadap kestabilan sistem. Oleh karena itu, resistor menjadi komponen pendukung yang sangat penting dalam memastikan rangkaian bekerja dengan optimal dan aman.