

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Pada bagian ini berisi landasan teori yang akan digunakan sebagai dasar dalam proses pembuatan proyek akhir. Pada bagian ini, yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

2.1.1 Locker

Locker adalah sebuah laci, lemari atau ruang yang dapat dikunci. *Locker* sendiri dapat ditemui di banyak tempat seperti area olahraga, sekolah, perpustakaan, maupun sarana umum lain yang dapat digunakan sebagai tempat penyimpanan barang bawaan bagi pengunjung sarana tersebut. *Locker* pada umumnya menggunakan kunci konvensional/manual dimana untuk tingkat keamanannya tidak terjamin baik (Allen & Allen John, 2021). Gambar *Locker* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 *Locker*¹

2.1.2 ESP 32 Wroom 32 Module

ESP32 adalah *System on Chip* (SoC) yang mengintegrasikan mikrokontroler, Wi-Fi, dan *Bluetooth*. ESP32 dikenal karena kemampuan konektivitas nirkabelnya yang kuat, daya komputasi yang memadai, dan ukuran yang ringkas, sehingga sangat cocok untuk aplikasi *embedded* dan *Internet of Things* (IoT) yang

¹ TKA Iwa Surabaya. (t.t). Loker Lemari Besi (18 Pintu) Brother B-706-3 *Locker*. Diakses pada 6 Agustus 2025, from <https://www.tkaiwasurabaya.com/product-page/loker-lemari-besi-18-pintu-brother-b-706-3-locker>.

membutuhkan komunikasi *real-time* (Espressif, 2025) Dalam proyek ini, peran dari ESP32 adalah otak dari semua komunikasi signal dari piranti - piranti elektronik. ESP32 dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan spesifikasi dari ESP32 dapat dilihat pada Tabel 2.1.



Gambar 2. 2 ESP 32 Wroom 32¹

Tabel 2. 1 Spesisifikasi ESP 32 Wroom

Parameter	Detail
Nama Mikrokontroler	ESP 32 Wroom Module
Catu Daya	3.3V (umumnya via USB to TTL / board dev ESP32)
SRAM	±520 KB
Flash	4 MB
Bluetooth	Bluetooth Classic + BLE
WiFi	2.4GHz IEEE 802.11 b/g/n
GPIO	34 Pin
Mendukung	I2C, SPI, UART, PWM, ADC, DAC
USB	USB-to-Serial untuk programming

2.1.3 GM66 Barcode scanner

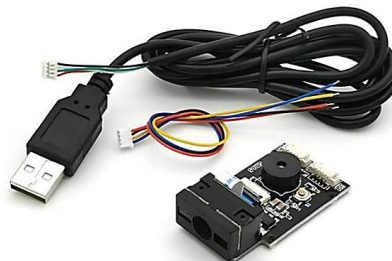
GM66 *barcode scanner* adalah modul pemindai kode *barcode* 1D dan 2D berbasis UART/USB yang dirancang untuk membaca berbagai format kode secara otomatis dengan akurasi tinggi (Siregar, 2024). Komponen utamanya meliputi sensor optik, *deCoder internal*, *buzzer* dan indikator LED untuk konfirmasi pemindaian. Modul ini menerima input tegangan 5V DC dan mengirimkan data hasil *scan* melalui *interface serial*, memungkinkan integrasi mudah dengan mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32 (Muhamad Ariandi & Jajang M

¹ Az-Delivery. (t.t). ESP32 NodeMCU Module. Diakses pada 6 Agustus 2025, dari: <https://www.az-delivery.de/en/products/esp32-developmentboard>.

Hambiah, 2025).

Prinsip kerjanya melibatkan iluminasi LED untuk menangkap gambar *barcode* dalam jarak 2,5-25 cm, diikuti pemrosesan algoritma dekoding yang mendukung format seperti *QR code*, *Code 128* dan *PDF417*, dengan sudut pandang hingga 360° (Rezky Al Kahfi dkk., 2025). Dalam konteks modul tunggal, GM66 beroperasi independen melalui perintah konfigurasi *serial*, sering dilengkapi fitur *auto-scan* dan *output TTL* untuk aplikasi *real-time*.

Modul GM66 sangat umum dalam sistem otomasi seperti inventaris logistik, absensi berbasis QR, dan proyek IoT, karena mampu membaca kode pada layar ponsel atau kertas dengan tingkat keberhasilan hingga 95% di berbagai kondisi cahaya (Siregar, 2024). Ia mengisolasi proses pemindaian dari logika utama sistem, meningkatkan efisiensi dan keandalan data input. Tampilan fisik GM66 dilihat pada Gambar 2.3 dan spesifikasi dari GM66 dapat dilihat pada Tabel 2.2.



Gambar 2. 3 GM66¹

Tabel 2. 2 Spesifikasi GM66 Modul

Parameter	Detail
Nama Modul	GM66
Rentang Tegangan Operasi	4.2V – 6V
Konsumsi Arus	±120 mA (<i>scan</i>), ±30 mA (<i>healty</i>)
Tipe Sensor	CMOS Image Sensor
Interface	UART (TTL-Serial), USB HID
Dukungan Sistem Mikrokontroller	Arduino, ESP32, Raspberry Pi

¹ IT Electro. (t.t.). *GM66 Qrcode Barcode Scanner for Raspberry Arduino Android USB Serial*. Diakses pada 15 Maret 2026, dari <https://www.tokopedia.com/it-electro/gm66-qrcode-barcode-scanner-for-raspberry-arduino-android-usb-serial-1730807653683987881>.

2.1.4 Thermal printer

Thermal printer adalah teknologi pencetakan yang menggunakan panas untuk menghasilkan gambar atau teks pada kertas khusus berupa kertas *thermal* yang sensitif terhadap suhu, tanpa memerlukan tinta atau toner. Proses ini melibatkan pemanas yang melakukan titik-titik tertentu pada kertas sehingga terjadi reaksi kimia yang menghasilkan cetakan yang tajam dan cepat (Abidin dkk., 2024). *Thermal printer* terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu *direct thermal* yang memanaskan kertas secara langsung, dan *thermal transfer* yang menggunakan pita tinta yang dipanaskan untuk mentransfer tinta ke kertas. Keunggulan teknologi ini meliputi kecepatan cetak tinggi, minim perawatan, serta ukuran perangkat yang kecil, sehingga sangat cocok untuk berbagai aplikasi seperti pencetakan struk, label dan tiket dalam industri ritel, kesehatan dan logistik (Riska, 2021).

(Abidin dkk., 2024) menjelaskan, *thermal printer* terbukti efektif untuk mencetak hasil pengukuran secara *real-time* pada sistem, menunjukkan keandalan dan efisiensi teknologi ini dalam aplikasi praktis. Namun, keterbatasan *thermal printer* terletak pada sensitivitas hasil cetak terhadap panas dan cahaya, yang dapat menyebabkan memudarnya cetakan jika tidak disimpan dengan baik, sehingga pemilihan kertas *thermal* berkualitas menjadi faktor penting dalam menjaga ketahanan cetakan (Riska, 2021) Secara keseluruhan, *thermal printer* merupakan solusi cetak yang praktis, ekonomis, dan efisien, sangat relevan untuk diaplikasikan dalam proyek akhir yang membutuhkan pencetakan cepat dan portabel. *Thermal printer* dapat dilihat pada Gambar 2.4 dan spesifikasi dari *Thermal printer* dapat dilihat pada Tabel 2.3.



Gambar 2. 4 *Thermal printer*¹

¹ Makerfabs. (t.t). Mini 58mm *Thermal Printer Module*. Diakses pada 6 Agustus 2025, dari <https://www.makerfabs.com/mini-58mm-thermal-printer-module.html> learn.adafruit.com +5 makerfabs.com +5 makerfabs.com +5.

Tabel 2. 3 Spesisifikasi *Thermal printer*

Parameter	Detail
Nama Modul	<i>Thermal printer</i>
Rentang Tegangan Operasi	5V – 9
Konsumsi Arus	$\pm 3A$ (<i>scan</i>), $\pm 0.2A$ (<i>healty</i>)
Operating Temperature	5 Deg.C – 50 Deg.C
Interface	Serial (TTL, RS-232), Parallel
Dukungan Sistem Mikrokontroller	Arduino, ESP32, Raspberry Pi
Resolusi	203 DPI (8 dot/mm)

2.1.5 Solenoid door lock

Solenoid door lock adalah perangkat elektromekanis yang mengunci atau membuka pintu menggunakan prinsip elektromagnetik (Serway & Jawett, 2018). Kumparan *solenoid* menghasilkan medan magnet saat dialiri listrik, menarik atau mendorong inti (*plunger*) yang terhubung ke mekanisme pengunci. Umumnya dipakai dalam sistem kontrol akses, perangkat ini bekerja berdasarkan hukum elektromagnetik, arus listrik menggerakkan inti logam, yang kemudian mengunci atau melepaskan slot pintu. Ada dua konfigurasi utama yaitu *Fail-secure (Normally Locked)*, yang tetap terkunci saat listrik padam untuk keamanan, dan *Fail-safe (Normally Unlocked)*, yang terbuka saat listrik padam untuk keselamatan. Pemilihan konfigurasi serta pertimbangan tegangan operasi, konsumsi daya, kekuatan penahanan, siklus hidup, dan integrasi sistem kontrol sangat penting untuk pengembangan yang efektif dan andal (Suwartika & Sembada, 2020). Fisik *Solenoid door lock* terlihat seperti pada Gambar 2.5 dan spesifikasi dari *Solenoid* dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Gambar 2. 5 *Solenoid door lock*¹

¹ Amazon.com. (t.t.). LUORNG DC 24V Electromagnetic Control Electronic Solenoid. Diakses pada 15 Maret 2026, dari <https://www.amazon.com/LUORNG-ElectromagneticControlElectronicSolenoid/dp/B0BXP19R2V>. keronglock.en.made-in-china+1

Tabel 2. 4 Spesifikasi *Solenoid Door Lock*

Parameter	Detail
Nama Modul	<i>Solenoid Door Lock</i>
Rentang Tegangan Operasi	12V
Konsumsi Arus	$\pm 0.8A - 1.5A$ (Aktif)
Sistem Kontrol	Relay module / MOSFET / transistor driver
Kecepatan Waktu Respon	$\pm 0.2 - 1$ detik
Dukungan Sistem Mikrokontroller	Arduino, ESP32, Raspberry Pi

2.1.6 Relay Module 4 Channel

Relay adalah saklar yang dioperasikan secara elektrik, berfungsi untuk mengendalikan rangkaian berdaya tinggi menggunakan sinyal kontrol berdaya rendah (Rafif Abdillah dkk., 2025). Komponen utamanya adalah kumparan elektromagnetik (*coil*) dan kontak listrik. Ketika kumparan dialiri arus, medan magnet menarik jangkar (*pole*), mengubah status kontak dan mengendalikan rangkaian yang sedang terhubung (Wijaya dkk., 2024). Dalam konteks relay 4 *channel*, ini berarti ada empat unit relay individual dalam satu modul, yang masing-masing beroperasi independen untuk mengontrol empat rangkaian berbeda dari satu sumber kontrol, seperti mikrokontroler (Muni dkk., 2025).

Prinsip kerja *channel* melibatkan *coil* yang menerima sinyal kontrol, kontak (NO, NC, COM) yang berubah status saat kumparan aktif, dan seringkali *dioda flyback* untuk melindungi rangkaian kontrol dari tegangan balik (Wijaya dkk., 2024). Modul relay 4 *channel* sangat umum dalam sistem *smart home*, kontrol industri, robotika dan proyek IoT, karena memungkinkan mikrokontroler mengendalikan perangkat AC atau DC berdaya tinggi dengan aman dan efisien, serta mengisolasi rangkaian kontrol bertegangan rendah dari rangkaian bertegangan tinggi, sehingga meningkatkan keamanan dan keandalan sistem. Tampilan fisik relay dilihat pada Gambar 2.6 dan spesifikasi dari Relay dapat dilihat pada Tabel 2.5.



Gambar 2. 6 Relay Modul 4 Channel¹

Tabel 2. 5 Spesifikasi Relay Modul 4 Channel

Parameter	Detail
Nama Modul	Relay Module 4 Channel
Rentang Tegangan Operasi	5V
Konsumsi Arus	$\pm 70\text{mA} - 200\text{mA}$
Tegangan Beban yang di Tangguh	AC 250V / DC 30V
Arus Beban yang di Tangguh	$\pm 10\text{A}$ per channel
Dukungan Sistem Mikrokontroller	Arduino, ESP32, Raspberry Pi

2.1.7 Google Spreadsheet

Google Spreadsheet API adalah antarmuka pemrograman aplikasi (*Application Programming Interface* - API) berbasis *RESTful* yang memungkinkan aplikasi eksternal untuk berinteraksi secara terprogram dengan *Google Spreadsheet* (Google for Developers, 2025). API ini berfungsi sebagai jembatan yang memungkinkan perangkat lunak lain untuk membaca, menulis, memformat dan mengelola data dalam *spreadsheet Google* tanpa intervensi manual pengguna. Prinsip kerjanya melibatkan pengiriman permintaan HTTP (seperti *GET*, *POST*, *PUT*, *DELETE*) ke *server Google Sheets API*, yang kemudian merespons dengan data atau status operasi yang diminta. Otentikasi dan otorisasi, umumnya melalui *OAuth 2.0*, sangat penting untuk memastikan bahwa hanya aplikasi yang berwenang yang dapat mengakses *data user* (Google for Developers, 2025). Pemanfaatan *Google Spreadsheet API* sangat luas, terutama dalam otomatisasi data, integrasi sistem, dan pengembangan aplikasi berbasis data. Misalnya, API ini

¹ Kuongshun Electronic Limited. (t.t). 4 Channel Relay Module With Light Coupling 5 V [Product page]. Diakses pada 6 Agustus 2025, dari <https://id.szks-kuongshun.com/uno/uno-board-shield/4-channel-relay-module-with-light-coupling-5v.html>.

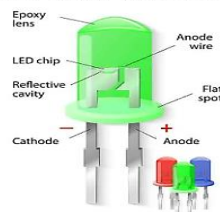
dapat digunakan untuk mengotomatisasi pengumpulan data dari sensor IoT, memperbarui inventaris secara *real-time*, menghasilkan laporan dinamis, atau bahkan sebagai *backend* sederhana untuk aplikasi web atau seluler (Luthfiyah Rosanti dkk., 2024). Kemampuannya untuk mengelola data secara terpusat di *cloud* dan menyediakan akses terprogram menjadikannya alat yang sangat berharga untuk berbagai solusi digital, mulai dari manajemen proyek hingga analisis bisnis.

2.1.8 LED

Light Emitting Diode (LED) adalah komponen semikonduktor yang termasuk dalam bagian dioda, mampu memancarkan cahaya ketika dialiri arus listrik dalam arah maju (*forward bias*) (Putri, 2024). Berbeda dengan lampu pijar yang menghasilkan cahaya melalui pemanasan filamen, LED bekerja berdasarkan prinsip pendaran elektro, di mana elektron dan lubang bergabung kembali di dalam material semikonduktor, melepaskan energi dalam bentuk cahaya (Kala, 2021). Warna cahaya yang dipancarkan oleh LED bergantung pada jenis material semikonduktor yang digunakan, yang menentukan panjang gelombang cahaya yang dihasilkan (Putri, 2024).

Keunggulan utama LED meliputi efisiensi energi yang tinggi, umur pakai yang panjang, ukuran yang ringkas, ketahanan terhadap guncangan, dan kemampuan untuk menghasilkan berbagai warna cahaya (Kala, 2021). Karena karakteristik ini, LED telah banyak menggantikan sumber cahaya konvensional dalam berbagai aplikasi, termasuk penerangan umum, layar tampilan, indikator elektronik. Dalam implementasinya, LED memerlukan pengontrolan arus yang tepat untuk memastikan kinerja optimal dan mencegah kerusakan, seringkali menggunakan *driver* LED yang dirancang untuk menjaga arus konstan (Kala, 2021). Tampilan fisik LED dapat dilihat pada Gambar 2.7.

LIGHT-EMITTING DIODE



Gambar 2. 7 LED¹

¹ LEDYi Lighting. (2023). *A comprehensive guide to LED* [Web page]. Diakses pada 6 Agustus 2025, dari <https://www.ledyilighting.com/id/a-comprehensive-guide-to-led/>.

2.1.9 Push button

Push button adalah jenis saklar sederhana yang berfungsi untuk mengontrol rangkaian listrik dengan menekan tombol secara manual (Eka Maulana dkk., 2024). Perangkat ini merupakan komponen dasar dalam sistem kontrol elektronik, dirancang untuk mengubah status rangkaian membuka atau menutup hanya selama tombol ditekan atau dilepaskan. Prinsip kerjanya didasarkan pada kontak mekanis ketika tombol ditekan, kontak internal akan bergerak, menyebabkan perubahan pada aliran arus listrik. *Push button* umumnya memiliki dua konfigurasi dasar yaitu *Normally Open* (NO), di mana rangkaian terbuka tidak ada aliran arus saat tidak ditekan dan tertutup ada aliran arus saat ditekan serta *Normally Closed* (NC), di mana rangkaian tertutup saat tidak ditekan dan terbuka saat ditekan (Putra dkk., 2018). Karena kesederhanaan, keandalan, dan kemudahan penggunaannya, *push button* banyak diaplikasikan dalam berbagai sistem, mulai dari perangkat elektronik konsumen, panel kontrol industri, hingga sistem otomasi sederhana, sebagai penghubung input bagi pengguna atau operator. Tampilan fisik *Push button* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 *Push button*¹

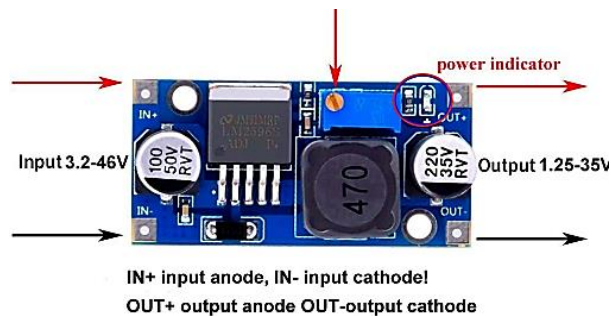
2.1.10 Step Down DC LM2596

Modul *step down* DC LM2596 berfungsi untuk menurunkan tegangan DC dari sumber yang lebih tinggi ke tingkat yang lebih rendah sesuai kebutuhan rangkaian elektronik atau mikrokontroler. Dalam praktiknya, sering kali terdapat perbedaan tegangan kerja antar modul, sehingga diperlukan *regulator* agar tegangan yang diberikan sesuai dan perangkat dapat bekerja dengan baik. Modul

¹ Ubuy. (t.t.). Taiss AC 660 V 10 A *Momentary Start/Stop Red Green Sign NO NC Push Button Switch* (HB2-Start/Stop) [Product page]. Diakses pada 6 Agustus 2025, dari <https://www.ubuy.co.id/en/product/RVMRDUQ-taiss-ac-660v-10a-momentary-start-stop-red-green-sign-no-nc-push-button-switch-hb2-start-stop>

ini menggunakan komponen seperti *solid capacitor* dan PCB berkualitas untuk memastikan tegangan output tetap stabil (Dian Mahardi dkk., 2024).

Pengaturan tegangan dapat dilakukan dengan memutar *potensiometer* yang tersedia pada modul. Saat menghubungkan modul, penting untuk memperhatikan *terminal input* dan *output* serta polaritas positif dan negatif, karena kesalahan dalam pemasangan dapat menyebabkan kerusakan pada modul (Dian Mahardi dkk., 2024). Tampilan fisik *Step Down* dapat dilihat pada Gambar 2.9 dan spesifikasi dari *Step Down* dapat dilihat pada Tabel 2.6.



Gambar 2. 9 *Step Down* DC LM2596¹

Tabel 2. 6 Spesifikasi *Step Down* LM2696

Parameter	Detail
Nama Modul	<i>Step Down</i> DC LM2596
Rentang Tegangan Input	4V – 40V DC
Rentang Tegangan Output	1.25V – 35V (adjustable)
Efisiensi	Hingga $\pm 90\%$
Maximum Output Current	$\pm 3A$
Dukungan Sistem Mikrokontroller	Arduino, ESP32, Raspberry Pi

2.1.11 QR-Code

QR-code merupakan singkatan dari *quick response code* adalah sebuah kode yang mampu diuraikan dalam waktu singkat dan tepat. QR-code dikembangkan oleh Denso Wave, sebuah perusahaan asal Jepang pada tahun 1994. QR-code mampu menyimpan 2084 digit atau 4289 karakter termasuk tanda baca ataupun karakter spesial, sehingga dapat menampilkan teks, membuka URL, menyimpan

¹ AliExpress. (t.t). LM2596S DC-DC Step-Down Power Module 3 A 5 V. Diakses pada 6 Agustus 2025, dari <https://id.aliexpress.com/item/33017419129.html>.

kontak ke buku, dan lain-lain (Purdadi dkk., 2023). Untuk membuatnya kita dapat menggunakan *QR code generator*, *QR code generator* biasanya berbentuk aplikasi yang dapat membuat kode QR dengan cepat dan mudah dengan bisa dilihat pada Gambar 2.10. Salah satu contoh penerapannya di Indonesia terutama pada bidang keuangan adalah QRIS atau singkatan dari *Quick Response Indonesia Standard*. QRIS merupakan sebuah standarisasi yang mengatur transaksi dalam negeri yang wajib mengacu pada peraturan Bank Indonesia tersebut (Afandi dkk., 2022).

Secara umum, *QR Code* dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu:

1. *QR Code Statis*

QR-code Statis merupakan sebuah kode yang tidak dapat diubah lagi kondisinya. Penggunaan *QR code* ini tepat untuk penggunaan pribadi maupun *QR code API*. Contoh penggunaannya antara lain pada akses WiFi, bitcoin, E-mail dan sebagainya.

2. *QR Code Dinamis*

QR-code Dinamis memiliki konsep sebaliknya dari *QR code statis*. *QR code dinamis* dinilai sangat cocok untuk digunakan dalam bidang bisnis, dan pemasaran. *QR code dinamis* memiliki isi yang dapat diperbaharui, diedit, dan diubah. Contoh penggunaan *QR code dinamis* adalah untuk pembayaran, media sosial, kupon, situs web bisnis, dan lain-lain.



Gambar 2. 10 *QR-Code*¹

2.1.12 MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*)

MQTT adalah protokol konektivitas antar perangkat yang banyak digunakan dalam ekosistem *Internet of Things (IoT)*, dan mengenal dua fungsi dasar komunikasi *machine-to-machine*, yaitu *publish* dan *subscribe* (pub/sub) Protokol ini dirancang sebagai protokol pengiriman pesan yang sangat sederhana dan sangat

¹ Wikipedia. (t.t). *QR code*. In Wikipedia. Diakses pada 6 Agustus 2025, dari https://en.wikipedia.org/wiki/QR_code.

ringan, dibuat untuk perangkat yang terbatas dengan kapasitas bandwidth rendah, latensi tinggi, atau berada pada jaringan yang tidak andal (Al-Azam dkk., 2019).

MQTT beroperasi menggunakan model *broker-client*, di mana sebuah *MQTT broker* berperan sebagai penghubung dan pengatur transmisi data antara *publisher* (perangkat pengirim) dan *subscriber* (perangkat penerima), sehingga perangkat tidak perlu saling terhubung secara langsung satu sama lain, melainkan cukup terhubung ke *broker* yang sama (Indrasari dkk., 2026). *Publisher* mengirimkan data ke suatu *topic* tertentu, dan setiap *client* yang telah melakukan *subscribe* ke *topic* tersebut akan otomatis menerima data yang dipublikasikan. Model ini membuat penambahan jumlah perangkat dalam suatu sistem IoT menjadi lebih efisien, karena setiap perangkat baru hanya perlu terhubung ke *broker*, bukan ke seluruh perangkat lain dalam jaringan.

Protokol ini juga mendukung tiga level *Quality of Service* (QoS) yang menentukan tingkat jaminan pengiriman pesan antara *publisher*, *broker*, dan *subscriber*, yaitu QoS 0 (*at most once*), QoS 1 (*at least once* dengan mekanisme *acknowledgment* PUBACK), dan QoS 2 (*exactly once* dengan mekanisme *handshake* empat langkah: PUBLISH, PUBREC, PUBREL, PUBCOMP) (Indrasari dkk., 2026). Pemilihan level QoS berimplikasi langsung terhadap performa sistem, khususnya pada aspek *delay*, *jitter*, dan konsumsi sumber daya jaringan — semakin tinggi level QoS, semakin besar jaminan pengiriman pesan yang diberikan, namun semakin besar pula *overhead* komunikasi dan *delay* yang dihasilkan (Indrasari dkk., 2026). Karakteristik masing-masing level QoS dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Perbandingan Level QoS pada Protokol MQTT

Level QoS	Jaminan Pengiriman	Mekanisme	Karakteristik
QoS 0	<i>At most once</i>	Tanpa <i>acknowledgment</i>	<i>Delay</i> paling rendah, tidak ada jaminan pesan sampai, cocok untuk data yang boleh sesekali hilang
QoS 1	<i>At least once</i>	Satu <i>acknowledgment</i> (PUBACK)	Menjamin pesan sampai minimal satu kali, berpotensi duplikat, keseimbangan antara kecepatan dan keandalan
QoS 2	<i>Exactly once</i>	<i>Handshake</i>	Jaminan pengiriman

		empat langkah (PUBLISH, PUBREC, PUBREL, PUBCOMP)	tertinggi tanpa duplikasi, namun delay dan overhead paling besar
--	--	--	--

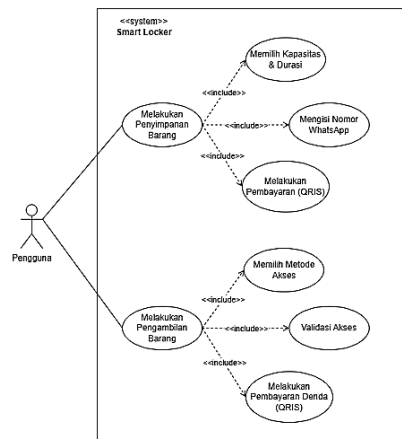
Dibandingkan dengan komunikasi berbasis HTTP yang bersifat *request-response* — di mana *client* harus melakukan *request* baru dan menunggu balasan penuh untuk setiap pertukaran data MQTT bekerja dengan koneksi persisten antara *client* dan *broker*, sehingga pesan dapat didistribusikan secara *near real-time* dengan *overhead* komunikasi yang jauh lebih kecil sebuah paket MQTT tipikal hanya memiliki overhead 2-5 *byte* dibandingkan lebih dari 200 *byte* untuk header HTTP. Karakteristik inilah yang membuat MQTT relevan digunakan pada penelitian ini sebagai jalur komunikasi tambahan antara ESP32 dan *backend* validasi pembayaran, untuk mengurangi jumlah *request* HTTP berulang beserta *overhead* pembentukan koneksi yang menyertainya, sehingga latensi proses validasi transaksi dapat ditekan tanpa mengorbankan keandalan pengiriman data.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian awal yang dipaparkan oleh (Possumah & Abdurrahman Lukman, 2025) menjelaskan *smart locker* digital dengan metode pembayaran QRIS solusi penitipan barang di kota bandung. Fokus penelitian ini merancang sistem *smart locker* berbasis *Internet of Things* (IoT). Teknologi sistem ini terletak pada kemampuannya untuk beroperasi secara mandiri dan otomatis. Hal ini diwujudkan melalui pengelolaan ketersediaan loker dan perhitungan biaya berdasarkan durasi penitipan, memberikan fleksibilitas kepada pengguna. Integrasi QRIS memungkinkan transaksi pembayaran yang cepat dan tanpa kontak, secara otomatis memverifikasi pembayaran dan mengaktifkan akses. Selain itu, kode akses unik dikirimkan secara *real-time* dan otomatis ke pengguna setelah pembayaran berhasil melalui *WhatsApp*, menghilangkan kebutuhan interaksi manual dengan petugas.

Desain sistem ini mendukung efisiensi ruang dan mobilitas wisatawan dengan menyediakan solusi penitipan barang yang praktis, aman, dan efisien tanpa keterlibatan petugas, sesuai dengan kebiasaan digital masyarakat Indonesia. Namun, salah satu potensi kekurangan dari sistem ini adalah ketergantungan pada pengiriman kode akses melalui *WhatsApp*, yang mungkin menjadi kendala jika

pengguna tidak memiliki aplikasi tersebut, mengalami masalah konektivitas, atau kehilangan perangkat seluler mereka. Selain itu, tidak disebutkan adanya metode otentikasi sekunder atau cadangan untuk akses dalam kondisi darurat.. Gambar 2.11 adalah gambar *Use Case User* Possumah & Abdurrahman Lukman.



Gambar 2. 11 *Use Case User* Possumah & Abdurrahman Lukman.¹

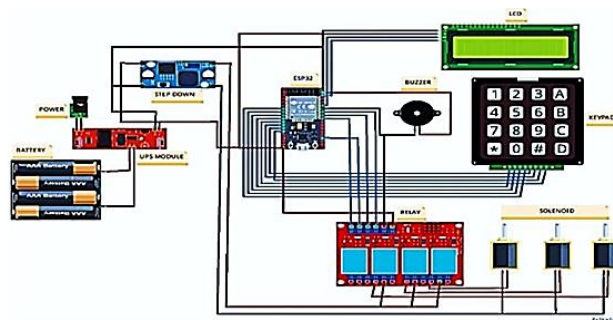
Melengkapi pendekatan otentikasi berbasis kode digital, penelitian selanjutnya oleh (Ahmad dkk., 2024) mengembangkan sistem *smart locker* yang mengintegrasikan teknologi pengenalan wajah sebagai metode otentikasi. Aspek teknologi utama dari penelitian ini adalah penggunaan *biometrik* untuk keamanan dan otentikasi yang lebih tinggi. Sistem ini secara cerdas mengidentifikasi dan memverifikasi pengguna berdasarkan fitur wajah mereka, menggantikan kunci fisik atau kode yang rentan duplikasi. Integrasi kamera ESP32-CAM berfungsi sebagai mata pada sistem, secara otomatis mengambil gambar wajah pengguna untuk proses perbandingan. Kemampuan sistem untuk membandingkan wajah yang terdeteksi dengan basis data wajah yang telah terdaftar menunjukkan kemampuan pengenalan pola dan pengambilan keputusan secara otomatis. Jika kecocokan terdeteksi, pintu loker akan terbuka secara otomatis, menunjukkan respons terhadap otentikasi yang berhasil. Gambar 2.12 menunjukkan *visual smart locker* dengan otentikasi menggunakan ESP32 CAM oleh Ahmad dkk.

¹ Possumah, M. K., & Abdurrahman, L. (2025). *Smart locker digital dengan metode pembayaran QRIS sebagai solusi penitipan barang bagi wisatawan di Kota Bandung*. Media Informatika, 24(2), 98–109. Universitas Telkom.



Gambar 2. 12 Smart locker dengan otentikasi menggunakan ESP CAM Ahmad dkk¹

Beralih dari otentikasi *biometrik*, penelitian (Giovaniz dkk., 2024) ini berfokus pada penggunaan Kode *One-Time Password* (OTP) sebagai metode keamanan untuk loker penitipan barang. Teknologi dalam sistem ini terletak pada penggunaan kode akses yang dinamis dan berjangka waktu. OTP adalah kode akses yang hanya berlaku untuk satu kali penggunaan atau dalam jangka waktu terbatas, sehingga meningkatkan keamanan dibandingkan kunci konvensional yang statis. Mikrokontroler ESP32 bertindak sebagai otak, mengelola proses pembuatan, verifikasi, dan penggunaan OTP untuk membuka loker. Penambahan *Uninterruptible Power Supply* (UPS) menunjukkan kecerdasan dalam manajemen daya, memastikan sistem tetap beroperasi meskipun terjadi pemadaman listrik, menjaga ketersediaan layanan. Skema rangkaian pada Giovaniz dkk dapat dilihat pada Gambar 2.13



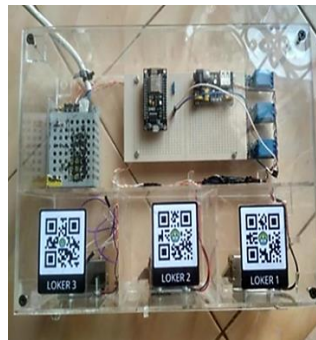
Gambar 2. 13 Skema rangkaian elektronika smart locker Giovaniz dkk²

(Rahayu dkk., 2022) membahas perancangan sistem kunci smart

¹ Ahmad, R., Wagya, A., & Junianto, P. D. (2024). Perancangan dan implementasi sistem smart locker dengan face recognition berbasis Internet of Things. *SPEKTRAL: Journal of Communications, Antennas and Propagation*, 5(1), 239–245.

² Giovaniz, A., Siregar, L. A., & Yanie, A. (2024). Rancang bangun smart locker penitipan barang berbasis one-time password (OTP). *Journals of Telecommunication and Electrical Scientific (JTELS)*, 1(1), 12–18.

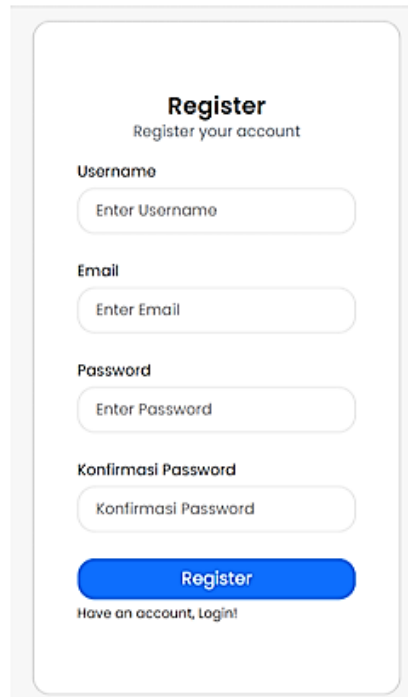
menggunakan pemindaian QR Code sebagai kunci loker. Aspek dari sistem ini adalah penggunaan QR code sebagai identifikasi digital yang fleksibel dan sistem notifikasi keamanan. QR code berfungsi sebagai kunci digital yang dapat dipindai, memungkinkan akses yang cepat dan efisien. Ini adalah pendekatan untuk mengelola akses tanpa kunci fisik. Sistem ini juga pintar dalam memverifikasi data pribadi pengguna yang terkait dengan QR code, meningkatkan lapisan keamanan. Kemampuan untuk mengirim notifikasi *email* dan mengelola *level login* menunjukkan sistem yang cerdas dalam memantau aktivitas dan memberikan peringatan keamanan, terutama untuk deteksi pencurian. Implementasi fisik perangkat milik Rahayu dkk dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Implementasi fisik perangkat Rahayu dkk¹

(Permana dkk., 2025) mengembangkan sistem *smart locker* berbasis IoT dengan autentikasi QR code yang terintegrasi dengan web. Kecerdasan sistem ini terletak pada sinkronisasi *real-time* antara loker fisik dan *platform web*. Sistem ini secara cerdas menghasilkan QR code yang berubah secara acak, meningkatkan keamanan dan mencegah duplikasi. *Platform web* memungkinkan pemantauan ketersediaan dan lokasi loker secara *real-time*, memberikan informasi terkini kepada pengguna dan administrator. Melalui integrasi web, pengguna atau administrator dapat mengontrol loker dari jarak jauh, seperti membuka atau mengunci. Gambar 2.5 menunjukkan halaman depan pendaftaran untuk mengakses *smart locker* oleh Permana dkk.

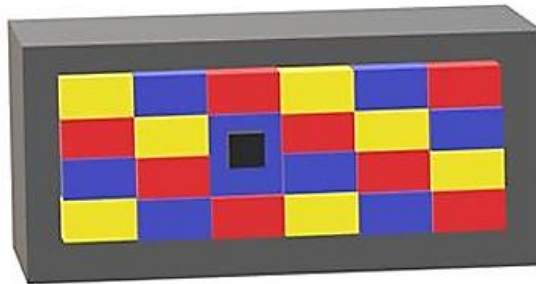
¹ Rahayu, Y., Afif, L., & Soh, P. J. (2022). Design and development of smart lock system based QR-code for library's locker at Faculty of Engineering, Universitas Riau. *SINERGI: Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 26(3), 379–384.



Gambar 2. 15 Tampilan depan *Register User* Permana dkk.¹

Sebagai penutup tinjauan ini, (Luís dkk., 2022) dalam menyajikan survei komprehensif mengenai *smart locker*. Penelitian ini menganalisis berbagai pendekatan *smart locker* yang ada, mengidentifikasi tren dan arah masa depan. Survei ini mengkategorikan dan membandingkan berbagai solusi *smart locker*, menyoroti kekuatan dan keterbatasan masing-masing. Penelitian ini membahas bagaimana *smart locker* dapat menjadi solusi inovatif untuk tantangan logistik *last mile delivery*, menunjukkan pemikiran strategis dalam penerapan teknologi, mengidentifikasi hambatan yang ada dan mengusulkan arah penelitian masa depan, menunjukkan pemahaman mendalam tentang evolusi teknologi *smart locker*. Gambar 2.6 menunjukkan rancangan sistem yang dibuat oleh Luís dkk.

¹ Permana, A. C., Pradana, A. I., & Hartanti, D. (2025). Smart loker berbasis IoT dengan autentikasi QR code terintegrasi dengan web. *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)*, 13(3), 1716–1724.



Gambar 2. 16 Rancangan sistem *smart locker* Luís dkk¹

Tabel 2. 8 Perbandingan Tabel Penelitian Terdahulu

PenelitianTerdahulu	Sistem Kontrol dan Sensor	Kelebihan	Kekurangan
<i>Smart locker digital dengan metode pembayaran QRIS sebagai solusi penitipan barang bagi wisatawan di Kota Bandung</i> oleh (Possumah & Abdurrahman Lukman, 2025).	QRIS sebagai metode pembayaran dan terhubung ke platform pesan adalah <i>WhatsApp</i> untuk pengiriman kode akses yang bisa digunakan.	Integrasi pembayaran QRIS. Menyediakan metode pembayaran yang modern, cepat, dan sesuai dengan kebiasaan <i>digital</i> masyarakat Indonesia, meningkatkan kenyamanan pengguna.	Ketergantungan pada <i>WhatsApp</i> . Jika pengguna tidak memiliki aplikasi <i>WhatsApp</i> , mengalami masalah konektivitas internet, atau kehilangan perangkat seluler, akses loker bisa terhambat.
Perancangan dan implementasi sistem <i>smart locker</i> dengan <i>face recognition</i> berbasis <i>Internet of Things</i> oleh (Ahmad dkk., 2024).	ESP CAM sebagai kontrol pusat yaitu mengenali wajah wajah <i>user</i> yang telah di daftarkan.	Keamanan tingkat tinggi (<i>Face Recognition</i>). Penggunaan biometrik menawarkan tingkat keamanan yang sangat tinggi, sulit dipalsukan, dan menghilangkan risiko kehilangan kunci fisik atau kode	Dibutuhkan Pendaftaran Wajah Awal. Pengguna harus mendaftar dan memindai wajah mereka terlebih dahulu, yang bisa menjadi hambatan bagi pengguna baru atau yang tidak terdaftar.
Rancang bangun <i>smart locker</i> penitipan barang berbasis <i>One-Time Password</i> (OTP) oleh (Giovaniz dkk., 2024).	Mikrokontroller ESP32 sebagai otak sistem dibantu dengan <i>keypad</i> sebagai sensor input kode OTP.	Keamanan OTP. Penggunaan kode satu kali pakai secara signifikan meningkatkan keamanan dibandingkan kunci statis, karena kode selalu berubah dan berjangka waktu. Keandalan Daya (UPS).	Pengalaman Pengguna yang melewati banyak otoritas. pengguna untuk memasukkan kode, yang mungkin sedikit lebih lambat dibandingkan pemindaian QR atau wajah langsung.

¹ Luís, S. F. A., Martins, C. M. G., Caldeira, P. L. M., Soares, J. G. N. (2022). *Smart lockers* approaches, challenges and opportunities. (IJEAT) (International Journal of Engineering and Advanced Technology), 11(3), 141-149.

		Penambahan <i>Uninterruptible Power Supply</i> (UPS) adalah kelebihan besar karena memastikan sistem tetap berfungsi bahkan saat listrik padam, menjaga ketersediaan layanan.	
<i>Design and development of smart lock system based QR-Code for library's locker at Faculty of Engineering</i> oleh (Rahayu dkk., 2022).	Mikrokontroller ESP8266 NodeMCU dan email sebagai integrasi websitenya.	Peningkatan keamanan dengan verifikasi data. Penambahan verifikasi data pribadi melalui QR Code adalah langkah cerdas untuk meningkatkan lapisan keamanan dibandingkan hanya mengandalkan kode sederhana.	Potensi duplikasi QR Code. Meskipun ada verifikasi data, jika QR Code asli dapat diduplikasi secara fisik atau digital tanpa mekanisme pengamanan tambahan, risiko keamanan masih ada.
<i>Smart locker berbasis IoT dengan autentikasi QR Code terintegrasi dengan web</i> oleh (Permana dkk., 2025)	ESP CAM dan integrasi web sebagai sinkronisasi waktu secara <i>real-time</i> .	Sinkronisasi <i>real-time</i> dengan <i>platform</i> web. Memungkinkan pengguna dan administrator memantau status loker (ketersediaan, lokasi) secara <i>real-time</i> dan dari jarak jauh.	Platform web memerlukan keamanan siber yang kuat untuk melindungi dari serangan siber (misalnya, peretasan, DDoS), karena kerentanan pada web bisa berimbas pada keamanan loker fisik.
<i>Smart lockers approaches, challenges and opportunities</i> (Luís dkk., 2022)	Tidak menjabarkan penelitian dalam komponen fisik. Fokus Penelitian adalah analisis dan pendekatan bisnisnya.	Fokus pada tantangan <i>last mile delivery</i> . Menyoroti relevansi <i>smart locker</i> dalam konteks logistik modern, menunjukkan pemahaman mendalam tentang aplikasi praktis.	Tidak ada implementasi fisik. Karena ini adalah survei, tidak ada desain atau implementasi sistem kontrol fisik yang dapat dianalisis secara langsung, sehingga tidak ada data performa atau komponen spesifik yang diuji.

Penelitian *smart locker* pada Tabel 2.8, yang seringkali berfokus pada metode otentikasi tunggal seperti kode digital melalui aplikasi eksternal yang rentan terhadap masalah konektivitas, atau biometrik pengenalan wajah yang mungkin menimbulkan isu privasi dan sensitivitas lingkungan, serta *One-Time Password* (OTP) yang bergantung pada pengiriman digital, seringkali menghadapi tantangan dalam hal keandalan akses, kemudahan penggunaan di lapangan, dan fleksibilitas

model bisnis. Selain itu, sistem *QR code* terdahulu mungkin belum sepenuhnya mengintegrasikan siklus rental yang dinamis atau otomatisasi pembukuan secara on-site.

Penelitian ini secara khusus mengatasi celah tersebut dengan mengintegrasikan konsep empat loker dengan ukuran berbeda (dua besar, satu sedang, satu kecil) yang memungkinkan penetapan tarif sewa per jam yang bervariasi, sehingga secara langsung menjawab kebutuhan pasar akan fleksibilitas kapasitas penyimpanan dan opsi harga yang disesuaikan. Kami mengembangkan siklus operasi mandiri dan terotomatisasi penuh dari awal hingga akhir.