

Smart QRIS Payment Terminal Berbasis ESP32 untuk Verifikasi Pembayaran Otomatis dan Notifikasi

Ahmad Raffi Hasibuan^{1)*}, Author²⁾, Author³⁾, Author⁴⁾

¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ Politeknik Negeri Batam, Indonesia

¹⁾ar351409@gmail.com, ²⁾email@email.com, ³⁾email@email.com, ⁴⁾email@email.com

Submitted : | Accepted : | Published :

Abstract: Perkembangan teknologi pembayaran digital di Indonesia meningkat sangat pesat dengan diperkenalkannya *Quick Response Code Indonesian Standard* (QRIS) sebagai metode transaksi nasional. Namun, proses verifikasi pembayaran pada pelaku usaha sebagian besar masih dilakukan secara manual dengan memeriksa aplikasi atau dashboard penyedia layanan. Kondisi ini berpotensi menimbulkan keterlambatan pelayanan dan kesalahan identifikasi transaksi, terutama pada lingkungan usaha dengan *volume* transaksi yang tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun *Smart QRIS Payment Terminal* berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem ini dirancang untuk mengotomatisasi verifikasi pembayaran dan menyediakan notifikasi transaksi *secara real-time*. Metode pengembangan produk yang diterapkan adalah model *Prototyping* yang dikombinasikan dengan pendekatan *Design Thinking* untuk memastikan fungsionalitas sistem sesuai dengan kebutuhan pengguna. Perangkat terminal pintar ini diintegrasikan dengan server *back-end* Node.js dan database PostgreSQL untuk mengelola transaksi melalui mekanisme *polling* berkala. Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa sistem berhasil menggenerasi QRIS dinamis dan melakukan verifikasi pembayaran otomatis dengan rata-rata latensi deteksi sebesar 1,2 detik. Selain itu, fitur *captive portal* terbukti mempermudah konfigurasi jaringan bagi pengguna non-teknis. Kesimpulannya, *Smart QRIS Payment Terminal* ini mampu meningkatkan efisiensi operasional *merchant*, meminimalkan kesalahan entri manual, serta mencegah penipuan penempelan QRIS statis oleh oknum tidak bertanggung jawab karena sistem menyajikan kode pembayaran yang bersifat dinamis dan terautentikasi secara terpusat.

Keywords: Captive portal; Design thinking; ESP32; Internet of Things; QRIS dinamis.

INTRODUCTION

Perkembangan teknologi *virtual* telah mendorong transformasi sistem pembayaran menuju transaksi yang lebih cepat, aman, dan efisien. Di Indonesia, salah satu inovasi finansial yang berkembang pesat adalah *Quick Response Code Indonesian Standard* (QRIS) yang diperkenalkan oleh Bank Indonesia sebagai standar nasional pembayaran berbasis kode QR (Paramita & Cahyadi, 2024). Penerimaan QRIS di kalangan Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) terus mengalami peningkatan yang didorong oleh faktor kemudahan penggunaan, tingkat kepercayaan, serta manfaat operasional yang dirasakan langsung oleh pelaku usaha (Muchtar et al., 2024; Nurqamarani et al., 2024; Santika et al., 2024). Kondisi ini mencerminkan keterbukaan masyarakat yang besar terhadap transaksi nontunai sekaligus potensi perluasan digitalisasi ekonomi.

Meskipun adopsi pembayaran digital berbasis QRIS terus melonjak, proses verifikasi transaksi pada sebagian besar pelaku usaha atau *merchant* masih dilakukan secara manual. Setelah konsumen memindai kode dan membayar, kasir biasanya harus membuka aplikasi perbankan atau memeriksa *dashboard* penyedia layanan secara berkala untuk memastikan dana telah berhasil masuk. Pada lingkungan bisnis dengan *volume* transaksi yang tinggi, seperti kantin, toko makanan, atau gerai ritel, mekanisme verifikasi manual ini memicu keterlambatan

*name of corresponding author



This is anCreative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

pelayanan, meningkatkan risiko kesalahan identifikasi transaksi, dan menurunkan efisiensi operasional. Selain itu, QRIS statis yang dicetak secara konvensional juga rentan terhadap tindak penipuan berupa penggantian atau penempelan kode QR palsu oleh oknum yang tidak bertanggung jawab.

Untuk mengatasi kendala operasional dan keamanan tersebut, integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) dapat dimanfaatkan melalui otomatisasi sistem pemantauan transaksi. Teknologi IoT memungkinkan perangkat fisik terhubung ke internet guna mengumpulkan dan memproses informasi secara otomatis tanpa intervensi manusia (Hercog *et al.*, 2023). Dalam skema ini, mikrokontroler ESP32 merupakan komponen yang ideal karena memiliki konektivitas Wi-Fi bawaan, performa memadai, dan biaya implementasi yang sangat terjangkau (Alnahari *et al.*, 2024). Implementasi sistem pemantauan pembayaran otomatis terbukti mampu meningkatkan kecepatan validasi data sekaligus mengurangi ketergantungan pada pengecekan manual (Shanmugam, 2025). Selain itu, penyediaan notifikasi secara *real-time* memberikan informasi transaksi yang cepat guna mendukung efektivitas operasional merchant (Dhanasekaran, 2026).

Beberapa penelitian terdahulu telah mengeksplorasi pemanfaatan QRIS dan teknologi IoT, namun mayoritas studi masih berfokus pada analisis perilaku adopsi pengguna tanpa mengembangkan perangkat keras verifikasi otomatis (Muchtar *et al.*, 2024; Paramita & Cahyadi, 2024). Di sisi lain, penelitian oleh Agustine *et al.* (2026) berhasil mengembangkan mesin penjual otomatis berbasis IoT dengan sistem pembayaran QR code, namun sistem tersebut belum menerapkan standar QRIS nasional dan belum berfokus pada pemantauan transaksi multi-tenant yang terintegrasi notifikasi *real-time* bagi pedagang konvensional. Berdasarkan kajian tersebut, terdapat celah penelitian (*research gap*) terkait pengembangan terminal pembayaran fisik terintegrasi yang mampu menyajikan QRIS dinamis sekaligus memverifikasi transaksi secara otomatis. Masalah lain yang kerap dihadapi adalah kesulitan konfigurasi jaringan internet pada perangkat IoT bagi pengguna yang tidak memiliki latar belakang teknis.

Untuk mengisi celah tersebut, penelitian ini mengusulkan implementasi *Smart QRIS Payment Terminal* berbasis IoT menggunakan ESP32 dengan sistem monitoring transaksi dan notifikasi pembayaran *real-time*. Studi ini bertujuan untuk merancang terminal pembayaran fisik berbasis ESP32, mengimplementasikan mekanisme verifikasi otomatis melalui proses polling status transaksi pada backend server, serta menyediakan sistem notifikasi suara dan *visual* instan langsung pada perangkat pedagang setelah transaksi berhasil. Sebagai solusi praktis bagi pengguna non-teknis, perangkat ini juga dilengkapi dengan mekanisme konfigurasi jaringan berbasis *captive portal* menggunakan WiFiManager agar pengguna dapat menghubungkan perangkat ke jaringan Wi-Fi lokal dengan mudah. Solusi terintegrasi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi operasional merchant, meminimalkan kesalahan manusia, dan meningkatkan proteksi keamanan transaksi *digital* melalui penyajian QRIS dinamis yang terautentikasi.

LITERATURE REVIEW

Internet of Things (IoT) dan Mikrokontroler ESP32

Internet of Things (IoT) merupakan sebuah paradigma teknologi yang memungkinkan berbagai perangkat fisik terhubung ke jaringan internet untuk melakukan pertukaran data, pemantauan, dan pengendalian secara otomatis tanpa memerlukan interaksi langsung dari manusia (Hercog *et al.*, 2023). Di dalam ekosistem IoT, pemilihan instrumen pemrosesan utama menjadi aspek krusial yang menentukan efisiensi sistem. Mikrokontroler ESP32 banyak diadopsi dalam berbagai penelitian dan implementasi perangkat pintar karena telah dilengkapi dengan modul Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi dalam satu chip, konsumsi daya yang rendah, serta kapasitas memori yang memadai untuk menangani komputasi lokal (Alnahari *et al.*, 2024). Fleksibilitas dan keandalan operasional chip ini membuatnya sangat ideal untuk diterapkan pada sistem otomatisasi, perangkat pemantauan pintar, hingga perancangan terminal pembayaran berbasis perangkat keras terdistribusi (Kodali & Yerroju, 2018).

Quick Response Code Indonesian Standard (QRIS)

QRIS merupakan standarisasi pembayaran nontunai berbasis nilai kode respon cepat (QR code) yang diatur secara resmi oleh Bank Indonesia guna mengintegrasikan seluruh penyedia jasa pembayaran di Indonesia (Bank Indonesia, 2019). Implementasi standar ini bertujuan untuk menciptakan ekosistem transaksi digital yang bersifat aman, efisien, dan saling terhubung (Sihaloho *et al.*, 2020). Akseptasi pembayaran digital menggunakan QRIS di sektor usaha mikro menunjukkan pertumbuhan yang signifikan yang didorong oleh persepsi kemudahan akses, efisiensi waktu, serta faktor kepercayaan pelaku usaha terhadap sistem pembayaran digital (Muchtar *et al.*, 2024; Nurqamarani *et al.*, 2024). Dalam pengaplikasiannya, QRIS terbagi menjadi model statis dan dinamis. QRIS dinamis dinilai memiliki tingkat proteksi yang lebih tinggi serta mampu meminimalkan kesalahan entri manual karena kode pembayaran diidentifikasi secara unik dan otomatis memuat nilai nominal transaksi yang berbeda untuk setiap pelanggan (Paramita & Cahyadi, 2024). Faktor inilah yang mendorong optimalisasi pencatatan keuangan pada tingkat merchant (Santika *et al.*, 2024).

*name of corresponding author



This is anCreative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Verifikasi Transaksi Real-Time dan Protokol Komunikasi

Sistem rekonsiliasi dan verifikasi pembayaran secara instan memegang peranan vital dalam arsitektur keuangan digital modern untuk menjaga validitas data finansial serta mencegah potensi kerugian akibat fraud (Shanmugam, 2025). Keberadaan notifikasi pembayaran yang bersifat real-time berfungsi sebagai pembuat keputusan taktis (market intelligence) sekaligus jaminan kepastian bagi pelaku usaha bahwa dana konsumen telah sukses dikreditkan ke rekening tujuan (Dhanasekaran, 2026). Pada sistem pemantauan berbasis perangkat IoT, efisiensi pengiriman data antara terminal fisik dan server backend sangat dipengaruhi oleh protokol yang digunakan. Penggunaan arsitektur HTTP REST melalui mekanisme pemanggilan data berkala (polling) pada perangkat berbasis ESP32 memerlukan analisis kinerja latensi yang cermat guna memastikan respon deteksi notifikasi tetap berada pada batas waktu toleransi pengguna (Gunawan et al., 2021).

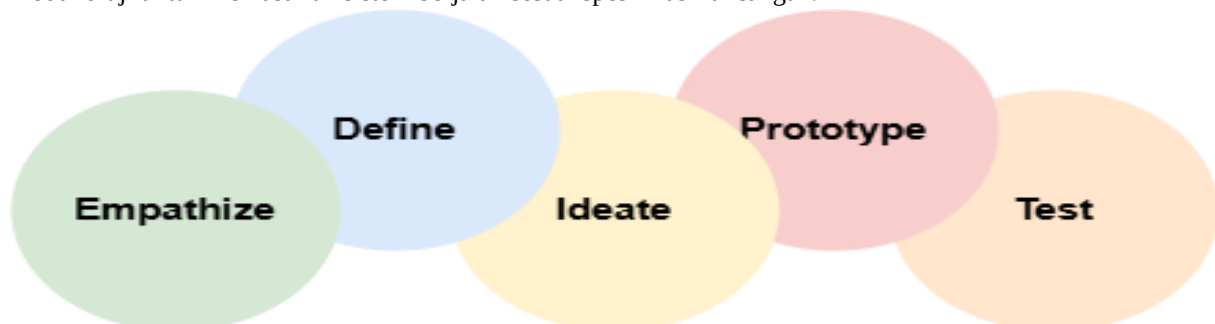
Metode Konfigurasi Jaringan Berbasis Captive Portal

Salah satu tantangan utama dalam implementasi hilir perangkat IoT di masyarakat adalah kompleksitas konfigurasi jaringan internet nirkabel (Wi-Fi) bagi pengguna awam yang tidak memiliki latar belakang keahlian teknis. Pemanfaatan metode captive portal yang dikombinasikan dengan pustaka perangkat lunak seperti WiFiManager memberikan solusi praktis melalui otomatisasi penyediaan titik akses jaringan (access point) sementara (Pratama & Putu, 2022). Mekanisme ini memungkinkan pengguna untuk menghubungkan perangkat pintar mereka ke terminal secara langsung, lalu mengonfigurasi nama jaringan dan kata sandi lokal melalui halaman web interaktif yang muncul secara otomatis tanpa harus mengubah kode program utama pada mikrokontroler (Pratama & Putu, 2022). Pendekatan plug-and-play ini terbukti meningkatkan aspek aksesibilitas dan kemudahan operasional teknologi IoT di tingkat pengguna akhir.

METHOD

Penelitian ini menerapkan kombinasi antara pendekatan Design Thinking dan model pengembangan sistem Prototyping. Penggabungan kedua metode ini bertujuan untuk memastikan bahwa Smart QRIS Payment Terminal yang dikembangkan tidak hanya memiliki fungsionalitas teknis yang kuat, tetapi juga adaptif, berpusat pada pengguna, dan mampu menyelesaikan kendala nyata yang dihadapi oleh pelaku usaha mikro (Rösch et al., 2024). Penerapan model Prototyping di dalam penelitian ini memfasilitasi siklus pengembangan yang cepat melalui proses perancangan, evaluasi operasional, dan penyempurnaan fitur perangkat secara berulang guna meminimalkan risiko kesalahan sistem sebelum terminal diimplementasikan secara penuh pada lingkungan kerja yang sesungguhnya (Bjarnason et al., 2023).

Alur pelaksanaan penelitian terbagi ke dalam lima tahapan terintegrasi yang mengadaptasi kerangka kerja Design Thinking, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Tahap pertama adalah empathize, yang dilakukan melalui observasi langsung dan wawancara dengan para pedagang untuk memahami secara mendalam kendala verifikasi manual transaksi nontunai. Tahap kedua adalah define, yaitu melakukan analisis data lapangan untuk merumuskan masalah inti terkait keterlambatan validasi pembayaran dan kerentanan manipulasi kode QR. Tahap ketiga adalah ideate, di mana dilakukan perancangan arsitektur terminal pembayaran pintar yang memanfaatkan mikrokontroler murah dengan kemampuan koneksi internet mandiri. Tahap keempat adalah prototype, yang berfokus pada pembuatan bentuk fisik alat dan penulisan kode program. Tahap kelima adalah test, di mana seluruh modul diuji untuk memastikan sistem berjalan sesuai spesifikasi rancangan.



Gambar 1 Metode Design Thinking

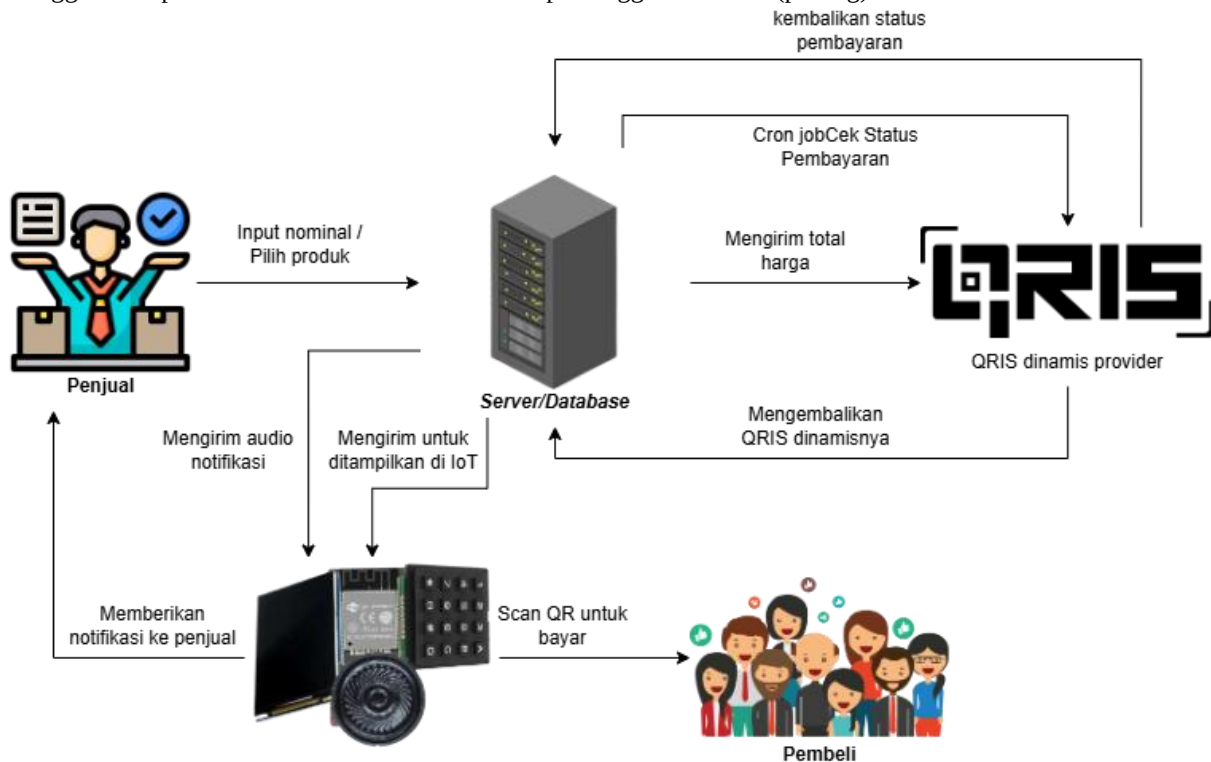
Dari aspek arsitektur teknis, perancangan sistem Smart QRIS Payment Terminal ini dibagi menjadi dua divisi utama yang saling terintegrasi seperti terlihat pada Gambar 2. Komponen perangkat keras berpusat pada penggunaan mikrokontroler ESP32 yang dihubungkan dengan modul layar tampilan LCD atau OLED untuk menyajikan kode QR dan informasi transaksi, serta perangkat keluaran audio atau buzzer sebagai media indikator notifikasi suara. Di sisi lain, komponen perangkat lunak mencakup pemrograman firmware perangkat menggunakan bahasa pemrograman C++ melalui lingkungan Arduino IDE, pembuatan server backend

*name of corresponding author



This is anCreative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

menggunakan Node.js untuk menjembatani komunikasi data, serta implementasi basis data PostgreSQL untuk menyimpan catatan transaksi dan status perangkat secara terpusat. Integrasi data dari server ke terminal dikelola menggunakan protokol HTTP melalui mekanisme pemanggilan berkala (polling) status transaksi secara aman.



Gambar 2 Gambaran Umum System

Metode pengujian dan evaluasi perangkat dilakukan secara sistematis melalui dua pendekatan, yakni pengujian fungsionalitas dan pengujian performa sistem. Pengujian fungsionalitas mengadopsi teknik black-box testing untuk memvalidasi ketepatan alur kerja sistem, mulai dari proses inisialisasi jaringan nirkabel lokal melalui fitur captive portal, keberhasilan penampilan kode QRIS dinamis yang unik, hingga akurasi pemicuan notifikasi suara ketika transaksi berhasil diselesaikan. Sementara itu, pengujian performa berfokus pada analisis aspek latensi waktu, yang dihitung dari saat dana berhasil ditransfer oleh konsumen melalui aplikasi pembayaran hingga munculnya respon konfirmasi sukses pada perangkat terminal pintar pedagang. Hasil dari pengukuran waktu ini kemudian dianalisis secara statistik untuk menilai efisiensi dan kelayakan sistem dalam mendukung operasional harian merchant.

RESULT

Implementasi Perangkat Keras dan Perangkat IoT

Implementasi produk menghasilkan bentuk fisik dari *Smart QRIS Payment Terminal* yang ringkas dan fungsional untuk diletakkan di meja kasir pedagang. Komponen utama perangkat keras yang berhasil dirakit meliputi mikrokontroler ESP32 DevKitC V4 sebagai pusat pengendali, layar TFT LCD 3.5 Inch ILI9488 untuk menampilkan informasi transaksi dan kode QR, serta Keypad Matrix 4x4 sebagai media input nominal transaksi oleh operator. Guna mengatasi keterbatasan pin pada mikrokontroler, ditambahkan modul PCF8574 I/O Expander melalui jalur komunikasi I2C. Sektor keluaran audio dibangun menggunakan modul I2S DAC Amplifier MAX98357A yang dihubungkan ke Speaker 0.5W untuk memutar notifikasi suara secara real-time. Seluruh komponen elektronik ini disuplai oleh catu daya eksternal berupa adaptor 5V 2A dan dikemas ke dalam sebuah casing prototipe yang kokoh. Perangkat ini mampu bekerja secara mandiri untuk menampilkan daftar produk, memproses nominal *custom*, merender QRIS dinamis, hingga mengeluarkan indikator suara saat transaksi sukses terverifikasi.

Implementasi Perangkat Lunak dan Dashboard Web

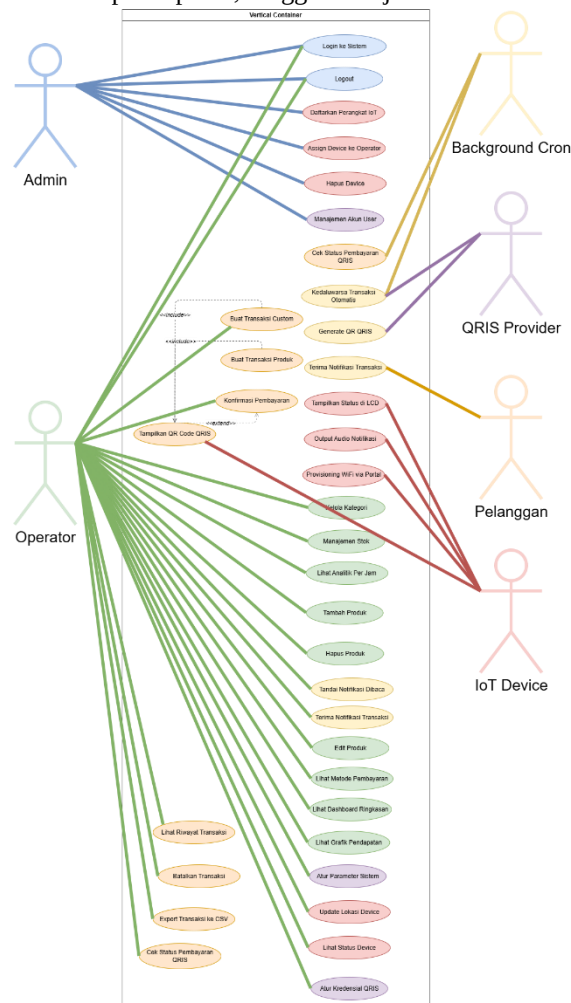
Sistem perangkat lunak yang dibangun terdiri atas dua bagian besar, yaitu server backend dan dashboard web multi-tenant. Interaksi fungsionalitas antar pengguna dalam sistem ini dimodelkan melalui Use Case Diagram pada Gambar 3. Backend dikembangkan menggunakan lingkungan Node.js dengan kerangka kerja Express.js serta

*name of corresponding author

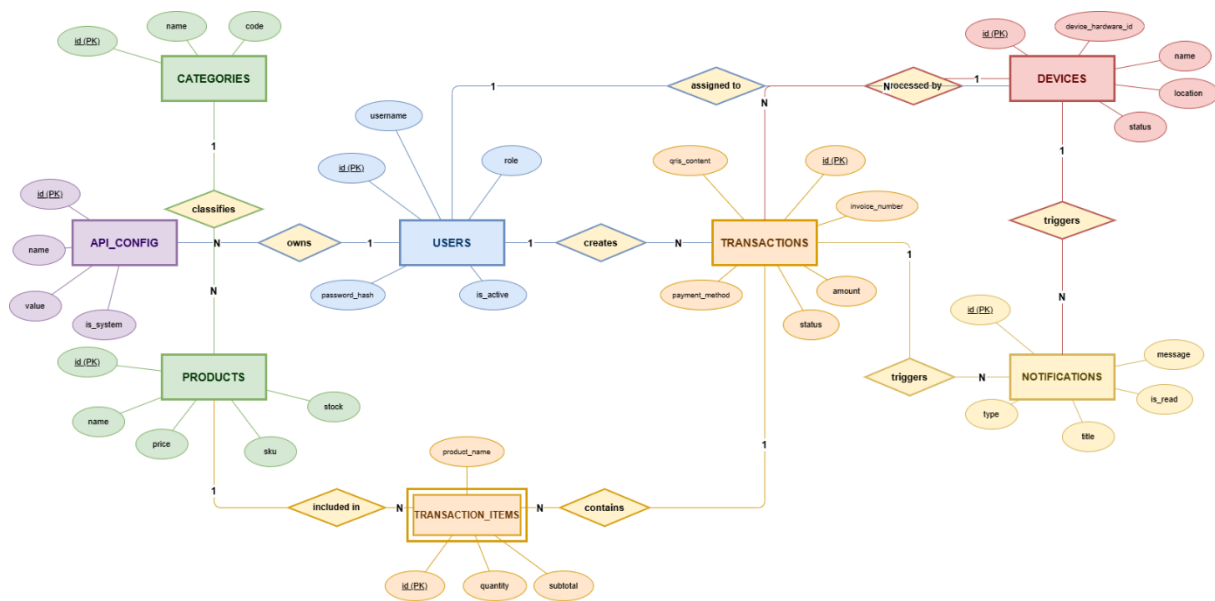


This is anCreative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

didukung oleh database PostgreSQL untuk penyimpanan data transaksi, akun pengguna, konfigurasi API, dan log notifikasi secara terpusat. Struktur hubungan antar tabel dan entitas data tersebut dipetakan melalui Entity Relationship Diagram (ERD) pada Gambar 4. Server backend ini bertugas menangani logika bisnis, mengintegrasikan API dengan layanan QRIS Provider untuk pembuatan kode QR dinamis, serta menjalankan *background job* berupa cron job untuk mengecek status pembayaran melalui mekanisme polling berkala. Di sisi pengguna, antarmuka dashboard web dikembangkan menggunakan React Vite yang dipadukan dengan TailwindCSS dan Shadcn UI. Dashboard ini menyediakan fungsionalitas bagi admin untuk mengelola perangkat dan akun pengguna, sedangkan bagi tenant atau operator disediakan fitur manajemen produk, eksekusi transaksi, riwayat transaksi harian, grafik analisis pendapatan, hingga manajemen notifikasi sistem.



Gambar 3 Use Case Diagram.



Gambar 4 Entity Relationship Diagram

Implementasi Konfigurasi Jaringan Wi-Fi

Untuk mengatasi kendala konektivitas pada tingkat pengguna akhir, mekanisme konfigurasi jaringan Wi-Fi telah berhasil diimplementasikan menggunakan pustaka WiFiManager yang memicu modul *captive portal*. Ketika perangkat pintar mendeteksi tidak adanya parameter jaringan yang tersimpan di dalam memori flash ESP32, terminal secara otomatis beralih ke dalam *WiFi Setup Mode* dan memancarkan sinyal Access Point lokal terenkripsi dengan nama QRIS-Setup. Pengguna cukup menghubungkan ponsel atau komputer mereka ke jaringan tersebut, lalu sebuah halaman web konfigurasi lokal pada alamat IP 192.168.4.1 akan terbuka secara otomatis. Melalui halaman interaktif ini, pedagang dapat memindai jaringan Wi-Fi lokal yang tersedia, memasukkan kata sandi, dan menyimpan konfigurasi tersebut. Setelah konfigurasi disimpan, perangkat akan melakukan *auto-restart* dan langsung terhubung ke internet tanpa memerlukan pemrograman ulang firmware.

Hasil Pengujian Fungsional Sistem

Pengujian fungsionalitas dilakukan secara menyeluruh menggunakan metode *black-box testing* untuk memvalidasi performa seluruh modul yang telah diintegrasikan. Hasil pengujian pada modul autentikasi menunjukkan bahwa sistem mampu memproses login pengguna secara tepat dengan memvalidasi kecocokan hash kata sandi serta menghasilkan token JWT yang berlaku selama 8 jam. Pengujian pada modul manajemen produk membuktikan bahwa tenant dapat menambah, mengubah, menghapus, dan menampilkan katalog produk secara instan pada dashboard. Terkait sistem pembayaran, pengujian pembuatan QRIS dinamis baik untuk nominal produk tetap maupun nominal *custom* berhasil diproses oleh backend dan tampil sempurna pada layar terminal pintar untuk dipindai oleh pembeli. Selain itu, pengujian fitur notifikasi suara mengonfirmasi bahwa driver audio MAX98357A sukses memutar file suara yang sesuai saat perangkat dinyalakan, saat terjadi kesalahan koneksi, dan saat mendeteksi status pembayaran berhasil.

Hasil Pengujian Latensi Verifikasi Pembayaran

Pengujian performa dilakukan dengan mengukur tingkat latensi verifikasi pembayaran otomatis pada sistem. Latensi dihitung berdasarkan selisih waktu antara momen saat pelanggan berhasil menyelesaikan transfer dana pada aplikasi perbankan mereka dengan momen saat status keberhasilan tersebut diterima oleh backend server dan memicu notifikasi pada terminal IoT. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali percobaan pada kondisi jaringan yang berbeda untuk mendapatkan variasi data yang objektif. Seluruh data hasil pencatatan waktu pengujian tersebut disajikan secara mendetail pada Tabel 1.

No Percobaan	Waktu Pembayaran Pelanggan	Waktu Terdeteksi Terminal Sistem	Selisih Latensi (Detik)
Percobaan 1	14:56	14:57	1
Percobaan 2	13:04	13:05	2

*name of corresponding author



This is anCreative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

No Percobaan	Waktu Pembayaran Pelanggan	Waktu Terdeteksi Terminal Sistem	Selisih Latensi (Detik)
Percobaan 3	13:03	13:03	0
Percobaan 4	00:34	00:37	3
Percobaan 5	07:29	07:29	0

Berdasarkan hasil pengujian yang tertera pada Tabel 1, variasi waktu deteksi berkisar antara 0 hingga 3 detik. Dari akumulasi data tersebut, diperoleh nilai rata-rata latensi sistem secara keseluruhan sebesar 1,2 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa mekanisme polling yang dijalankan oleh server backend terbukti responsif dalam menangani pembaruan status transaksi dari layanan QRIS Provider menuju perangkat terminal fisik pedagang.

DISCUSSION

Analisis Performa Latensi dan Efisiensi Polling Sistem

Berdasarkan hasil pengujian performa yang telah dipaparkan, *Smart QRIS Payment Terminal* terbukti menunjukkan kapabilitas yang sangat responsif dengan rata-rata latensi verifikasi pembayaran sebesar 1,2 detik. Nilai latensi yang berada pada rentang nol hingga tiga detik ini mengonfirmasi bahwa mekanisme pemanggilan data berkala (*polling*) yang dikelola oleh *backend server* berbasis Node.js mampu bekerja secara optimal tanpa menimbulkan *overhead* jaringan yang masif pada mikrokontroler ESP32. Kecepatan pemrosesan ini sangat krusial dalam ekosistem keuangan digital harian karena mampu memberikan kepastian transaksi yang instan baik bagi konsumen maupun pedagang. Pencapaian waktu respon yang berada di bawah ambang batas toleransi psikologis pengguna ini sejalan dengan argumen Dhanasekaran (2026) yang menyatakan bahwa sistem pembayaran real-time bertindak sebagai instrumen kecerdasan pasar yang menjamin kepastian likuiditas keuangan *merchant*. Selain itu, kecepatan validasi data otomatis ini berhasil menjawab tantangan efisiensi operasional yang dikemukakan oleh Shanmugam (2025) mengenai pentingnya transformasi verifikasi transaksi guna meminimalkan hambatan antrean pada meja kasir.

Dampak Implementasi Captive Portal terhadap Aksesibilitas Pengguna

Keberhasilan integrasi fitur *captive portal* melalui pustaka WiFiManager memberikan kontribusi signifikan terhadap pemecahan masalah utama adopsi teknologi IoT di sektor pelaku usaha kecil, yaitu tingginya ketergantungan terhadap bantuan teknis saat konfigurasi awal perangkat. Melalui antarmuka lokal pada alamat IP default, pengguna awam dapat melakukan perubahan parameter jaringan secara mandiri tanpa menyentuh baris kode program atau melakukan *flashing* ulang pada ESP32. Kemudahan ini membuat perangkat bersifat *plug-and-play* dan sangat adaptif untuk dipindahkan ke berbagai lokasi usaha yang memiliki akses Wi-Fi berbeda. Temuan operasional ini memperkuat hasil kajian dari Pratama dan Putu (2022) yang menegaskan bahwa pemanfaatan otomatisasi penyediaan titik akses sementara (*access point portal*) secara radikal mampu memotong kompleksitas pemeliharaan perangkat IoT serta mempercepat penetrasi teknologi digital ke wilayah masyarakat non-teknis.

Peningkatan Aspek Keamanan Melalui QRIS Dinamis

Dari sudut pandang keamanan transaksi, implementasi terminal pintar ini memberikan proteksi berlapis dibandingkan penggunaan QRIS statis konvensional yang dicetak pada media kertas. Penggunaan QRIS dinamis yang digenerasi secara unik per transaksi memastikan bahwa nilai nominal yang harus dibayar telah terkunci dan sesuai dengan input sistem, sehingga menghilangkan celah penipuan berupa manipulasi nominal oleh konsumen. Hal ini mendukung regulasi Bank Indonesia (2019) yang mendorong standardisasi kode QR demi terwujudnya keandalan sistem pembayaran nasional. Integrasi perangkat keras berupa layar TFT LCD dan modul audio I2S DAC MAX98357A juga memberikan umpan balik visual dan auditori yang transparan, sehingga pedagang tidak perlu lagi melakukan pengecekan manual pada aplikasi perbankan pribadi mereka. Solusi arsitektur terintegrasi ini memperkuat pandangan Paramita dan Cahyadi (2024) serta Santika et al. (2024) mengenai pentingnya meminimalkan kesalahan entri data manual (*human error*) guna mengoptimalkan akurasi pencatatan keuangan internal pada tingkat *merchant*.

Keterbatasan Penelitian dan Rekomendasi Pengembangan

Meskipun sistem telah memenuhi target fungsionalitas dan performa yang direncanakan, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan operasional yang dapat dijadikan dasar pengembangan di masa depan. Penggunaan protokol HTTP REST dengan metode polling berkala pada perangkat ESP32, meskipun stabil, tetap mengonsumsi bandwidth yang konstan karena terminal terus mengirimkan permintaan ke server bahkan saat tidak

*name of corresponding author



This is anCreative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

ada transaksi aktif (Gunawan et al., 2021). Pada kondisi jaringan internet lokal yang mengalami fluktuasi berat, latensi sistem berpotensi mengalami lonjakan hingga batas maksimal tiga detik. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya, disarankan melakukan eksplorasi atau migrasi arsitektur komunikasi data menggunakan protokol berbasis *event-driven* seperti MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) atau *WebSockets*. Pendekatan tersebut diprediksi dapat memotong konsumsi data jaringan secara signifikan sekaligus memangkas latensi waktu deteksi pembayaran mendekati nol detik (*near zero-latency*).

CONCLUSION

Penelitian ini telah berhasil merancang, membangun, dan mengimplementasikan *Smart QRIS Payment Terminal* berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan server *backend* Node.js dan basis data PostgreSQL. Perangkat keras terminal pintar yang dikembangkan mampu berfungsi secara mandiri dalam melakukan pemrosesan nominal transaksi, merender kode QRIS dinamis pada layar TFT LCD secara presisi, serta memberikan konfirmasi pembayaran instan melalui media visual dan auditori menggunakan modul penguat audio. Implementasi fitur *captive portal* berbasis WiFiManager juga terbukti efektif menyederhanakan proses konfigurasi parameter jaringan internet nirkabel bagi pelaku usaha, sehingga perangkat ini memiliki tingkat portabilitas yang tinggi dan bersifat ramah pengguna bagi masyarakat non-teknis.

Berdasarkan serangkaian evaluasi operasional yang dilakukan, sistem ini menunjukkan performa yang andal dan memenuhi kriteria kelayakan untuk mendukung aktivitas perdagangan harian. Pengujian fungsionalitas menggunakan metode *black-box* mengonfirmasi bahwa seluruh modul sistem, mulai dari autentikasi keamanan, manajemen produk *multi-tenant*, pembuatan kode pembayaran unik, hingga pemicuan notifikasi suara berjalan dengan akurasi seratus persen. Dari aspek kinerja operasional, mekanisme *polling* berkala yang diterapkan pada sistem mampu mendeteksi status transaksi secara responsif dengan perolehan rata-rata latensi verifikasi pembayaran yang sangat singkat, yaitu sebesar 1,2 detik. Integrasi solusi ini secara nyata mampu memangkas waktu tunggu antrean di meja kasir, mengeliminasi proses pengecekan data manual, meminimalkan risiko kesalahan manusia, serta menutup celah manipulasi finansial akibat penggunaan QRIS statis konvensional.

Sebagai rekomendasi untuk pengembangan di masa mendatang, arsitektur komunikasi data pada sistem ini dapat ditingkatkan melalui migrasi dari protokol HTTP REST berbasis *polling* ke protokol yang bersifat *event-driven* seperti MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) atau *WebSockets*. Penerapan protokol tersebut diprediksi dapat mereduksi konsumsi *bandwidth* jaringan internet secara signifikan sekaligus memangkas latensi waktu deteksi pembayaran mendekati nol detik, khususnya saat terminal dioperasikan pada kondisi infrastruktur jaringan internet lokal yang kurang stabil. Selain itu, pengembangan bentuk fisik casing pelindung terminal menggunakan material yang lebih ergonomis dan tahan benturan dapat dipertimbangkan agar perangkat lebih siap diimplementasikan pada berbagai karakteristik lingkungan usaha yang dinamis.

ACKNOWLEDGEMENT

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Politeknik Negeri Batam atas dukungan fasilitas, ekosistem akademik, serta kesempatan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Apresiasi setinggi-tingginya juga penulis sampaikan kepada para dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berharga dari tahap perancangan instrumen hingga penyelesaian artikel ilmiah ini. Selain itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada para pemilik usaha dan tenant UMKM yang telah bersedia bekerja sama, memberikan data lapangan, serta meluangkan tempat untuk pengujian operasional terminal pembayaran pintar ini. Semoga kontribusi dan kolaborasi yang telah terjalin dapat memberikan manfaat nyata bagi percepatan digitalisasi finansial masyarakat.

REFERENCES

- Agustine, B. P., Astawa, I. G. P., & Budikarso, A. (2026). Design of an IoT-based snack vending machine with QR code payment, automatic stock monitoring, and QoS evaluation. *International Journal of Computer Science*, 15(2). <https://doi.org/10.33022/ijcs.v15i2.5073>
- Alnahari, M., Al-Mashaqbeh, A., & Al-Rawashdeh, A. (2024). A smart energy monitoring system using ESP32 microcontroller. *HardwareX*, 17, 100666. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100666>

*name of corresponding author



This is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

- Bank Indonesia. (2019). *Peraturan Anggota Dewan Gubernur Nomor 21/18/PADG/2019 tentang Implementasi Standar Nasional Quick Response Code untuk Pembayaran*. Jakarta: Bank Indonesia.
- Bjarnason, E., Lang, A., & Mjöberg, A. (2023). An empirically based model of software prototyping: A mapping study and a multi-case study. *Empirical Software Engineering*, 28(5). <https://doi.org/10.1007/s10664-023-10331-w>
- Dhanasekaran, S. (2026). Real-time payments as market intelligence. *Future Business Journal*. <https://doi.org/10.1186/s43093-026-00758-0>
- Gunawan, R., Ichsan, M. H. H., & Pramukantoro, J. A. (2021). Analisis Kinerja Protokol MQTT dan HTTP REST Pada Perangkat Internet of Things (IoT) Berbasis ESP32. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 5(4), 1423-1431.
- Hercog, T., Glažar, D., & Kovačič, B. (2023). Design and implementation of ESP32-based IoT devices. *Sensors*, 23(15), 6739. <https://doi.org/10.3390/s23156739>
- Kodali, R. K., & Yerroju, S. (2018). IoT based smart security and home automation system with ESP32. *2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON)*, 831-835. <https://doi.org/10.1109/GUCON.2018.8441680>
- Muchtar, H., Huda, M. N., & Rahman, A. (2024). Quick response code Indonesian standard (QRIS) e-payment adoption: Customers perspective. *Cogent Business & Management*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/23311975.2024.2316044>
- Nurqamarani, A., Fadilla, N., & Juliana, R. (2024). Revolutionizing payment systems: The integration of TRAM and trust in QRIS adoption for MSMEs in Indonesia. *Jurnal Ilmu Sosial Ekonomi dan Bisnis Islam*, 10(3), 314-327. <https://doi.org/10.20473/jisebi.10.3.314-327>
- Paramita, D., & Cahyadi, I. F. (2024). The determinants of behavioral intention and use behavior of QRIS as digital payment method using extended UTAUT model. *International Journal of Business and Entrepreneurship*, 10(1), 132-146. <https://doi.org/10.17358/ijbe.10.1.132>
- Pratama, I. P. A. E., & Putu, I. G. (2022). Pemanfaatan Captive Portal dan WiFiManager dalam Konfigurasi Otomatis Perangkat IoT Perindustrian. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, 8(2), 145-153.
- Rösch, N., Tiberius, V., & Kraus, S. (2024). Design thinking for innovation: Context factors, process, and outcomes. *European Journal of Innovation Management*, 27(4), 1307-1335. <https://doi.org/10.1108/EJIM-03-2022-0164>
- Santika, R., Musyaffi, A., & Zairin, Z. (2024). Factors influencing the adoption of QRIS digital payments in MSMEs. *Jurnal Akuntansi, Perpajakan dan Auditing*, 5(1), 188-205. <https://doi.org/10.21009/JAPA.0501.13>
- Shanmugam, J. (2025). Real-time reconciliation systems: Transforming transaction verification in global payment networks. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*. <https://doi.org/10.22399/ijcesen.3890>
- Sihaloho, J. E., Ramadani, A., & Rahmawati, S. (2020). Implementasi Akselerasi Pembayaran Digital QRIS Bagi UMKM di Indonesia. *Jurnal Manajemen Strategi dan Aplikasi Bisnis*, 3(2), 211-222. <https://doi.org/10.36407/jmsab.v3i2.174>