

# RANCANG BANGUN SMART INVENTORY MULTIPLATFORM BERBASIS QR CODE DAN ESP32 UNTUK LABORATORIUM TELEKOMUNIKASI

Tsabitah Hanum<sup>1</sup>, Silfia Rifka<sup>2</sup>, Lifwarda<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>) Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Padang

Email: hanumsabitah@gmail.com<sup>1</sup>, silfia\_rifka@pnp.ac.id<sup>2</sup>, lifwarda@pnp.ac.id<sup>3</sup>

Corresponding Author : Tsabitah Hanum

Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Padang

Email: hanumsabitah@gmail.com

**Abstrak** – Pengelolaan alat praktikum di laboratorium pendidikan vokasi masih banyak yang mengandalkan pencatatan manual, sehingga rawan kesalahan data dan sulit ditelusuri riwayat penggunaannya. Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem *Smart Inventory* berbasis *web* dan *mobile* yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 untuk mendukung pengelolaan alat di Laboratorium Telekomunikasi. Sistem menerapkan *Role-Based Access Control* dengan tiga peran pengguna yaitu, administrator, dosen, dan mahasiswa yang masing-masing dapat mengakses fitur sesuai kewenangannya melalui *dashboard web* maupun aplikasi *mobile*. Identifikasi unit alat dilakukan menggunakan QR Code sebagai *Unique Identifier*, yang hasil pemindaianya diteruskan ke ESP32 untuk memberikan umpan balik fisik berupa LED dan Buzzer, sedangkan notifikasi status peminjaman dikirimkan melalui *Firestore Cloud Messaging*. Pengujian fungsional menunjukkan seluruh skenario berjalan sesuai rancangan, dengan pemindaian QR Code mencapai keberhasilan 100% pada jarak dekat ( $\leq 15$  cm) dengan pencahayaan cukup namun menurun signifikan pada jarak jauh dan kondisi minim cahaya, waktu respons perangkat keras rata-rata 5 detik, serta komunikasi klien-server yang aman melalui protokol HTTPS/TLS 1.2. Sejauh penelusuran literatur penulis, sistem ini memadukan akses multiplatform, identifikasi QR Code, dan validasi fisik ESP32 dalam satu kesatuan yang belum ditemukan pada penelitian inventaris laboratorium sebelumnya, sehingga berpotensi mempercepat proses peminjaman dan pengembalian alat serta meningkatkan akurasi pencatatan dibandingkan pengelolaan manual.

**Kata-kata kunci:** *Smart Inventory, QR Code, ESP32, RBAC, laboratorium telekomunikasi*

**Abstract** – Equipment management in vocational education laboratories still largely relies on manual record-keeping, making it prone to data errors and difficult to trace usage history. This study designs and implements a web- and mobile-based *Smart Inventory* system integrated with an ESP32 microcontroller to support equipment management at the Telecommunications Laboratory. The system applies *Role-Based Access Control* across three user roles — administrator, lecturer, and student — each accessing features through both a web dashboard and a mobile application according to their assigned permissions. Equipment units are identified using QR Codes as *Unique Identifiers*, with scan results forwarded to the ESP32 to trigger physical feedback via LED and buzzer, while loan-status notifications are delivered through *Firestore Cloud Messaging*. Functional testing shows that all scenarios performed as designed, with QR Code scanning achieving 100% accuracy at close range ( $\leq 15$  cm) under sufficient lighting but declining significantly at greater distances and under low-light conditions, an average hardware response time of 5 seconds, and secure client-server data exchange via HTTPS/TLS 1.2. To the best of the authors' knowledge, this system combines multiplatform access, QR Code identification, and ESP32-based physical validation within a single system not previously found in laboratory inventory research, potentially accelerating loan processing and improving record-keeping accuracy compared to manual management.

**Keywords:** *Smart Inventory, QR Code, ESP32, RBAC, telecommunications laboratory*

## I. PENDAHULUAN

Ketersediaan dan keteraturan alat praktikum menjadi penopang utama kegiatan pembelajaran di laboratorium pendidikan vokasi, termasuk pada

Laboratorium Telekomunikasi. Namun pada praktiknya, pencatatan peminjaman dan pengembalian alat di banyak laboratorium serupa masih mengandalkan buku catatan atau berkas manual, yang membuka peluang kekeliruan data, menyulitkan penelusuran riwayat pemakaian, serta

memperlambat proses verifikasi kondisi alat setelah digunakan. Kondisi tersebut berpotensi mengganggu kelancaran praktikum dan menyulitkan pengelola laboratorium dalam memantau keberadaan aset secara real-time.

Berbagai upaya digitalisasi pengelolaan laboratorium telah dilakukan untuk mengatasi persoalan ini. Sistem informasi berbasis *web* pernah diterapkan pada Laboratorium Program Studi Teknik Telekomunikasi dengan memanfaatkan QR Code dan RFID sebagai sarana identifikasi alat, namun sistem tersebut hanya tersedia dalam bentuk aplikasi *web* tanpa dukungan aplikasi *mobile* maupun umpan balik fisik dari perangkat keras [1]. Pendekatan serupa juga diterapkan pada laboratorium tingkat sekolah menengah kejuruan, yang berhasil mempercepat pencatatan data namun tetap terbatas pada akses melalui komputer/*browser* [2]. Di sisi lain, kerangka kerja Laravel telah dimanfaatkan untuk mengelola aset laboratorium komputer secara digital, tetapi belum menyertakan mekanisme identifikasi unit alat yang bersifat unik seperti QR Code [3]. Penelitian yang menggabungkan aplikasi *web* dan *mobile* sekaligus juga pernah dilakukan pada konteks inventaris produksi kayu, namun penerapannya berada di ranah industri dan tidak melibatkan skema peminjaman alat layaknya laboratorium pendidikan [4]. Integrasi QR Code dengan algoritma pencarian bersekuens juga terbukti efektif meningkatkan akurasi pencatatan aset di lingkup kantor pemerintahan, namun belum disertai proses peminjaman-pengembalian yang divalidasi lewat perangkat fisik [5], sementara penerapan QR Code pada sistem informasi perpustakaan sekolah pun masih terbatas pada *platform web* tanpa dukungan *mobile* atau umpan balik perangkat keras [6].

Dari rangkaian penelitian tersebut, tampak bahwa belum ada sistem yang memadukan sekaligus tiga unsur: akses lintas *platform* bagi seluruh peran pengguna, identifikasi unit alat berbasis QR Code yang berfungsi sebagai *unique identifier*, serta validasi fisik melalui perangkat keras yang memberi umpan balik langsung kepada pengguna. Kesenjangan inilah yang mendasari pengembangan sistem *Smart Inventory* pada penelitian ini, dengan menambahkan mikrokontroler ESP32 sebagai indikator visual dan audio setiap kali proses pemindaian QR Code berhasil atau gagal diverifikasi, pendekatan yang sejauh penelusuran literatur penulis belum ditemukan pada studi-studi sejenis di lingkungan laboratorium pendidikan [7]. Ringkasan perbandingan fitur antara penelitian ini dengan penelitian-penelitian terdahulu ditunjukkan pada Tabel 1.

Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem *Smart Inventory* berbasis *web* dan *mobile* yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 untuk mendukung pengelolaan alat di Laboratorium Telekomunikasi. Sistem dirancang dengan tiga peran pengguna (administrator, dosen, dan mahasiswa) yang masing-masing memiliki hak akses berbeda, dilengkapi identifikasi alat melalui QR Code, notifikasi push melalui *Firebase Cloud Messaging*, serta fitur ekspor laporan, sehingga proses peminjaman,

pengembalian, dan inspeksi alat dapat berlangsung lebih cepat, akurat, dan terdokumentasi dibandingkan pengelolaan manual.

TABEL I  
Perbandingan Fitur dengan Penelitian Terdahulu

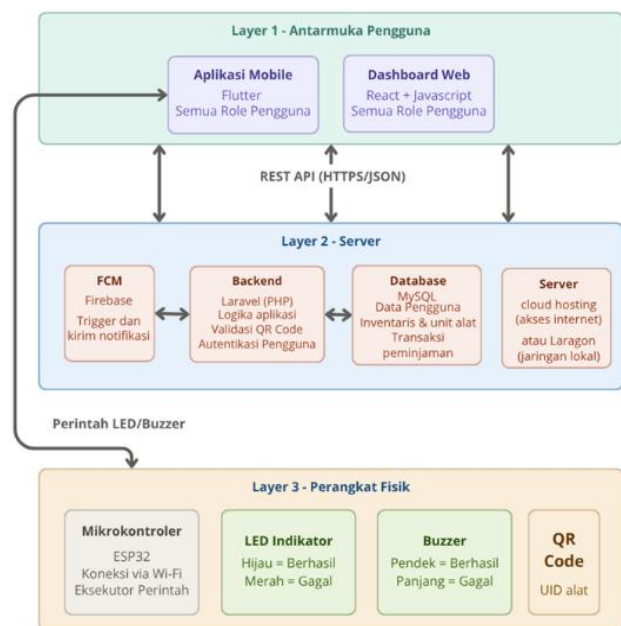
| Penelitian     | Multiplatform<br>(web+mobile) | QR Code<br>sebagai UID | Umpan<br>Balik Fisik |
|----------------|-------------------------------|------------------------|----------------------|
| [1]            | ×                             | √                      | ×                    |
| [2]            | ×                             | ×                      | ×                    |
| [3]            | ×                             | ×                      | ×                    |
| [4]            | √                             | ×                      | ×                    |
| [5]            | ×                             | √                      | ×                    |
| [6]            | ×                             | √                      | ×                    |
| Penelitian ini | √                             | √                      | √                    |

## II. METODOLOGI

Sistem *Smart Inventory* dikembangkan dengan pendekatan *Waterfall*, yaitu setiap tahap pengerjaan mulai dari analisis kebutuhan, perancangan, pengodean, hingga pengujian diselesaikan secara berurutan sebelum berpindah ke tahap berikutnya [8]. Pendekatan ini dipilih karena tiga alasan yang spesifik pada konteks proyek ini. Pertama, kebutuhan fungsional sistem telah ditetapkan, sehingga relatif tetap sepanjang pengerjaan. Kedua, sistem melibatkan tiga komponen yang saling bergantung yaitu, *backend*, antarmuka pengguna, dan perangkat keras ESP32 sehingga desain arsitektur dan skema komunikasi data perlu difinalisasi terlebih dahulu sebelum implementasi setiap komponen dapat berjalan paralel tanpa risiko ketidaksesuaian antarmuka. Ketiga, pengembangan dilakukan oleh pengembang tunggal dengan sumber daya terbatas, sehingga pendekatan bertahap memudahkan verifikasi tiap fase sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya, mengurangi risiko akumulasi kesalahan yang baru terdeteksi di tahap akhir.

### A. Arsitektur Sistem

Sistem dibangun dengan pola *client-server* yang terbagi ke dalam tiga lapisan. Lapisan antarmuka terdiri atas *dashboard web* berbasis React dan aplikasi *mobile* berbasis Flutter. Lapisan kedua adalah *backend* berbasis Laravel yang menangani autentikasi, validasi transaksi, serta komunikasi dengan *database MySQL*; lapisan ini juga terhubung dengan *Firebase Cloud Messaging* (FCM) untuk mengirim notifikasi *push* [9]. Lapisan ketiga adalah perangkat fisik di laboratorium, yakni mikrokontroler ESP32 beserta LED dan *buzzer* sebagai penanda hasil validasi. Ketiga lapisan saling terhubung melalui REST API berbasis protokol HTTPS dengan format pertukaran data JSON, sehingga seluruh pengambilan keputusan tetap terpusat di *backend* dan perangkat keras hanya mengeksekusi hasil akhir validasi. Gambaran arsitektur ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gbr. 1 Arsitektur Sistem

Akses pengguna diatur melalui skema *Role-Based Access Control* (RBAC) dengan tiga peran admin laboratorium, dosen, dan mahasiswa yang masing-masing memiliki cakupan hak berbeda sesuai tanggung jawabnya, sehingga setiap fungsi hanya dapat diakses oleh pihak yang berwenang [10]. Admin memiliki hak paling luas, meliputi persetujuan peminjaman, pengelolaan data inventaris dan jadwal, serta inspeksi kondisi alat; dosen dan mahasiswa dapat mengajukan peminjaman, memindai QR Code, dan memantau status transaksinya sendiri.

### B. Alur Proses Utama

Terdapat tiga alur inti dalam sistem: pengajuan peminjaman, pengambilan alat, dan pengembalian disertai inspeksi. Pada pengambilan maupun pengembalian, peminjam memindai QR Code yang tertempel di badan alat sebagai *Unique Identifier* (UID) melalui aplikasi *mobile*; nilai UID tersebut dikirim ke *backend* untuk dicocokkan dengan data transaksi yang sedang berlangsung. Apabila hasil pencocokan valid, aplikasi *mobile* meneruskan perintah ke ESP32 melalui jaringan WiFi lokal untuk menyalakan LED hijau disertai bunyi buzzer pendek; sebaliknya, ketidaksesuaian data memicu LED merah dan bunyi buzzer panjang sebagai tanda gagal. Pada tahap inspeksi, admin mencatat kondisi alat setelah dikembalikan; apabila ditemukan kerusakan, sistem mencatatnya sebagai insiden dan mengirim notifikasi tindak lanjut kepada peminjam.

### C. Perancangan Database

Database relasional dirancang menggunakan MySQL dengan tujuh belas tabel yang saling berelasi melalui *primary* dan *foreign key* [11]. Tiga tabel

berperan sentral dalam alur transaksi: tabel unit alat menyimpan nilai UID yang di-*encode* ke dalam label QR Code, tabel peminjaman mencatat status dan jenis transaksi, sedangkan tabel detail peminjaman menghubungkan satu transaksi dengan unit alat yang terlibat di dalamnya.

### D. Perancangan Perangkat Keras

ESP32 dipilih sebagai pengendali karena telah dilengkapi modul WiFi terintegrasi, sehingga dapat berkomunikasi langsung dengan *backend* tanpa modul jaringan tambahan [12]. Komponen keluaran terdiri atas LED hijau, LED merah, dan buzzer yang masing-masing terhubung ke pin ESP32 melalui resistor pembatas arus 220Ω pada jalur katoda. Rincian koneksi pin ditunjukkan pada Tabel 2.

TABEL II  
Koneksi Pin Perangkat Keras ESP32

| Komponen  | Pin ESP32 | Fungsi                         |
|-----------|-----------|--------------------------------|
| LED Hijau | GPIO 26   | Indikator validasi berhasil    |
| LED Merah | GPIO 27   | Indikator validasi gagal       |
| Buzzer    | GPIO 14   | Indikator audio hasil validasi |

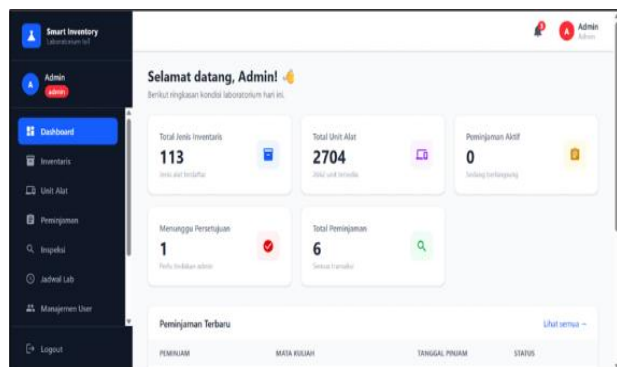
### E. Teknik Pengujian

Pengujian fungsional dilakukan dengan metode *black-box testing* untuk memverifikasi kesesuaian keluaran sistem terhadap skenario yang dirancang, mencakup autentikasi berbasis peran, alur transaksi, serta respons LED dan buzzer. Pengujian *endpoint* REST API dilakukan menggunakan Postman dengan memeriksa kode status HTTP yang dikembalikan, sedangkan keamanan komunikasi data diperiksa dengan menangkap lalu lintas jaringan menggunakan Wireshark pada sisi *backend* dan PCAPdroid pada sisi aplikasi *mobile* untuk memastikan data terenkripsi selama pertukaran berlangsung.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem *Smart Inventory* berhasil diimplementasikan dalam tiga komponen yang saling terhubung, yaitu *dashboard web* dan aplikasi *mobile* yang keduanya dapat diakses oleh seluruh peran pengguna sesuai hak akses masing-masing, serta perangkat keras ESP32 sebagai validator fisik. Administrator menggunakan kedua antarmuka terutama untuk pengelolaan data inventaris dan persetujuan peminjaman, sementara dosen dan mahasiswa dapat mengajukan peminjaman, memindai QR Code, serta memantau status transaksinya baik melalui *web* maupun aplikasi *mobile*. Ketiga komponen mengakses satu database terpusat melalui REST API, sehingga perubahan pada salah satu antarmuka langsung tercermin pada antarmuka lainnya. Sistem di-*deploy* pada platform cloud Railway agar dapat diakses secara daring tanpa bergantung pada satu perangkat tertentu.

Tampilan *dashboard* admin ditunjukkan pada Gambar 2, yang menyediakan fungsi pengelolaan data inventaris, persetujuan peminjaman, dan pemantauan status alat secara terpusat.



Gbr. 2 Dashboard Admin

Pengujian fungsional dilakukan dengan metode *black-box testing* mencakup tujuh kategori: autentikasi dan RBAC, alur transaksi peminjaman-pengembalian, akurasi pemindaian QR Code, respons perangkat keras, *endpoint* API, integrasi *end-to-end*, dan keamanan komunikasi data. Ringkasan hasil ditunjukkan pada Tabel 3.

TABEL III  
Ringkasan Hasil Pengujian Fungsional Sistem

| Kategori Pengujian            | Jumlah Skenario | Hasil                          |
|-------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| Autentikasi & RBAC            | 9               | 9/9 sesuai                     |
| Alur peminjaman-pengembalian  | 12              | 12/12 sesuai                   |
| Respons perangkat keras ESP32 | 4               | 4/4 sesuai<br>( $\pm 5$ detik) |
| Endpoint REST API             | 10              | 10/10 sesuai                   |
| Integrasi <i>end-to-end</i>   | 5               | 5/5 sesuai                     |
| <b>Total</b>                  | <b>40</b>       | <b>40/40 sesuai</b>            |

Seluruh skenario pada Tabel 3 menunjukkan kesesuaian penuh terhadap luaran yang diharapkan. Sistem RBAC berhasil membatasi akses tiap peran secara konsisten misalnya dosen tidak dapat mengubah data inventaris meski dapat mengajukan peminjaman dan memindai QR Code sementara seluruh transaksi tercatat otomatis di *database* tanpa intervensi manual, sebuah keunggulan dibandingkan sistem inventaris berbasis *web* saja yang masih mengandalkan input manual dari perangkat desktop di lapangan.

Pengujian akurasi pemindaian QR Code diperluas dengan menambah jumlah percobaan menjadi lima kali per titik jarak serta melibatkan dua kondisi pencahayaan (normal dan redup) untuk menghasilkan gambaran yang lebih representatif dibandingkan pengujian awal, dengan hasil pada Tabel 4.

TABEL IV  
Hasil Pengujian Akurasi Pemindaian QR Code

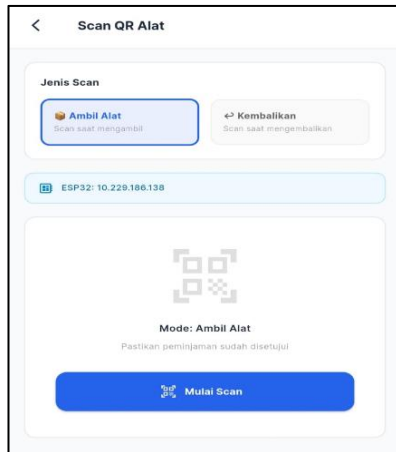
| Jarak Pemindaian | Cahaya Normal | Cahaya Redup | Total        |
|------------------|---------------|--------------|--------------|
| 5 cm             | 5/5 (100%)    | 5/5 (100%)   | 10/10 (100%) |
| 15 cm            | 5/5 (100%)    | 3/5 (60%)    | 8/10 (80%)   |
| 25 cm            | 4/5 (80%)     | 1/5 (20%)    | 5/10 (50%)   |

Hasil pada Tabel 4 menunjukkan bahwa pada jarak 5 cm, pemindaian berhasil sempurna baik pada kondisi cahaya normal maupun redup. Pada jarak 15 cm, tingkat keberhasilan tetap tinggi pada cahaya normal (100%) namun menurun pada cahaya redup (60%), mengindikasikan bahwa pencahayaan mulai berpengaruh signifikan seiring bertambahnya jarak. Penurunan paling jelas terlihat pada jarak 25 cm, dengan tingkat keberhasilan 80% pada cahaya normal namun hanya 20% pada cahaya redup. Secara keseluruhan, sistem bekerja paling andal pada jarak dekat ( $\leq 15$  cm) dengan pencahayaan cukup, sementara performa pada jarak jauh sangat bergantung pada ketersediaan cahaya sebuah temuan yang tidak teramati pada pengujian awal karena belum melibatkan variasi kondisi pencahayaan.

Pengujian ini masih terbatas pada satu variasi sudut pemindaian (tegak lurus) dan jumlah sampel yang belum besar ( $n=5$  per kondisi), sehingga generalisasi lebih luas memerlukan pengujian lanjutan dengan sampel dan variasi kondisi yang lebih komprehensif. Setiap keberhasilan maupun kegagalan pemindaian diteruskan ke ESP32 untuk menyalakan LED hijau disertai dua bunyi buzzer (berhasil) atau LED merah disertai satu bunyi buzzer (gagal), dengan waktu respons rata-rata sekitar 5 detik. Umpan balik fisik seperti ini menjadi pembeda utama sistem terhadap penelitian identifikasi QR Code sebelumnya, yang umumnya masih terbatas pada notifikasi di layar aplikasi tanpa indikator fisik langsung di lokasi alat. Meski demikian, respons ESP32 pada beberapa percobaan memerlukan pengulangan sebelum stabil, yang teridentifikasi berkaitan dengan kestabilan koneksi WiFi lokal sebuah keterbatasan yang menjadi catatan untuk pengembangan lanjutan.

Pengujian komunikasi data menggunakan Wireshark (sisi *web*) dan PCAPdroid (sisi *mobile*) menunjukkan dua pola berbeda. Pertukaran data antara aplikasi klien dan *backend* berlangsung HTTPS dengan TLS 1.2 sehingga isi paket tidak dapat dibaca; penggunaan TLS 1.2 ataupun TLS 1.3 pada penelitian ini mengikuti konfigurasi *default* layanan hosting yang digunakan dan belum menjadi keputusan desain yang dikaji secara khusus, sehingga peningkatan ke TLS 1.3 bisa menjadi salah satu perbaikan pada pengembangan selanjutnya. Sementara itu, komunikasi lokal antara aplikasi *mobile* dan ESP32 menggunakan protokol HTTP tanpa enkripsi dengan pertimbangan bahwa komunikasi ini berlangsung dalam jaringan lokal dan tidak memuat data pengguna yang sensitif. Meski demikian, ketiadaan autentikasi pada perintah aktuasi LED dan buzzer berpotensi menimbulkan risiko keamanan berupa *spoofing* atau *replay attack* apabila perangkat lain yang terhubung ke jaringan WiFi yang sama mengirimkan

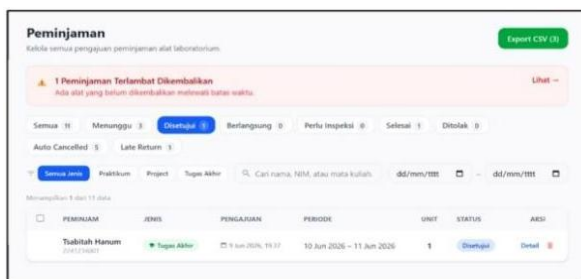
perintah serupa ke ESP32. Risiko ini belum ditangani pada implementasi saat ini dan menjadi salah satu keterbatasan yang perlu diatasi melalui mekanisme autentikasi tambahan, seperti token sesi atau pembatasan alamat MAC perangkat yang diizinkan, pada pengembangan selanjutnya. Proses pemindaian melalui aplikasi *mobile* ditunjukkan pada Gambar 3.



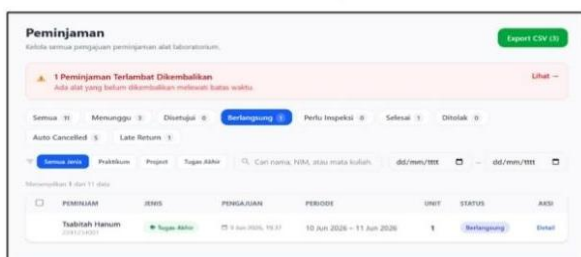
Gbr. 3 Scan Qr Code Alat di Aplikasi *Mobile*

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil memadukan tiga unsur yang belum ditemukan bersamaan pada penelitian-penelitian sebelumnya akses multiplatform, identifikasi QR Code sebagai UID, dan validasi fisik melalui ESP32 sebagaimana disampaikan pada bagian Pendahuluan, sekaligus menjawab kesenjangan yang teridentifikasi pada penelitian-penelitian terdahulu.

Bukti keberhasilan integrasi *end-to-end* antara aplikasi *mobile* dan *backend* ditunjukkan pada Gambar 4, yang memperlihatkan perubahan status peminjaman dari 'Disetujui' menjadi 'Berlangsung' segera setelah proses pemindaian QR Code berhasil divalidasi.



a. Sebelum Scan QR



b. Setelah Scan QR

Gbr. 4 Perubahan status peminjaman dari “Disetujui” menjadi “Berlangsung” setelah validasi QR code berhasil: (a) sebelum scan QR; (b) setelah scan QR

#### IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem *Smart Inventory* berbasis *web* dan *mobile* yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 untuk mendukung pengelolaan alat di Laboratorium Telekomunikasi. Sistem menerapkan mekanisme *Role-Based Access Control* dengan tiga peran pengguna administrator, dosen, dan mahasiswa yang masing-masing dapat mengakses *dashboard web* maupun aplikasi *mobile* sesuai hak aksesnya, sehingga proses peminjaman, pengembalian, dan inspeksi kondisi alat tercatat otomatis dan terpusat, menggantikan pencatatan manual yang rentan kesalahan. Identifikasi unit alat menggunakan QR Code sebagai *Unique Identifier* terbukti efektif membedakan setiap unit secara individual, dan integrasinya dengan ESP32 menghasilkan umpan balik fisik berupa LED dan *buzzer* yang memberi konfirmasi langsung kepada pengguna di lokasi alat sebuah pendekatan yang sejauh penelusuran literatur penulis belum ditemukan pada sistem inventaris laboratorium sejenis. Pengujian *black-box* pada seluruh kategori fungsional menunjukkan hasil yang sesuai dengan rancangan, sementara pengujian komunikasi data membuktikan pertukaran data antara aplikasi klien dan *server* berlangsung aman melalui protokol HTTPS/TLS. Untuk pengembangan lebih lanjut, kestabilan respons ESP32 terhadap jaringan WiFi perlu ditingkatkan, dan integrasi jadwal laboratorium dengan sistem akademik kampus dapat menjadi arah pengembangan berikutnya agar data jadwal selalu mutakhir tanpa input manual berulang.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan pada interpretasi hasil maupun pengembangan lanjutan. Pengujian akurasi pemindaian QR Code, meski telah diperluas dengan variasi kondisi pencahayaan, masih menggunakan jumlah sampel yang relatif kecil ( $n=5$  per kondisi) dan satu variasi sudut pemindaian saja. Waktu respons perangkat keras ESP32 dilaporkan sebagai nilai rata-rata tanpa data sebaran, karena perangkat keras yang digunakan sudah tidak tersedia untuk pengujian ulang pada saat revisi naskah dilakukan; pencatatan waktu respons secara individual pada setiap pengujian disarankan untuk penelitian selanjutnya.

Pengujian sistem juga belum mencakup skenario beban dengan banyak pengguna mengakses secara bersamaan, sementara sistem dirancang untuk digunakan secara multi-pengguna melalui arsitektur *client-server* berbasis *cloud*. Selain itu, evaluasi usability oleh pengguna akhir sesungguhnya melalui *User Acceptance Testing* (UAT) belum dilakukan pada penelitian ini; pengujian fungsional yang dilaporkan sepenuhnya dilakukan oleh peneliti. Ketiga aspek ini perluasan sampel pengujian, pengujian beban sistem, dan evaluasi UAT dengan pengguna nyata direkomendasikan sebagai prioritas pada penelitian atau pengembangan lanjutan untuk memperkuat validitas hasil secara lebih komprehensif.

## REFERENSI

- [1] Rabiah, N. N., Lindawati, L., & Sarjana, S. (2022). Web-Based Laboratory Inventory Application using QR Code and RFID in Telecommunication Engineering Laboratories/Workshops. *Sinkron : Jurnal dan Penelitian Teknik Informatika*, 6(4), 2248-2261. <https://doi.org/10.33395/sinkron.v7i4.11624>.
- [2] Dalimunthe, A., Sari, A. C., Maulana, B., Syahputra, F., & Suryanto, E. D. (2023). Rancang Bangun Sistem Informasi Manajemen Pengelolaan Laboratorium Berbasis Web di Sekolah Menengah Kejuruan. *Jurnal TIK dalam Pendidikan*, 10(2). <https://doi.org/10.24114/jtikp.v10i2.54116>.
- [3] Awaluddin, M. I., Arifin, R.W., & Setiyadi, D. (2020). Implementasi Framework Laravel pada Sistem Informasi Pengelolaan Aset Laboratorium Komputer. *Bina Insani ICT Journal*, 7(2), 187-197. <https://doi.org/10.51211/biict.v7i2.1428>.
- [4] Agustine, D. N., & Handayani, I. (2025). Rancang Bangun Aplikasi Inventory Produksi Kayu Berbasis Web dan Mobile: Studi Kasus UD Sulusur Jati. (2025). *Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika dan Komunikasi*, 6(1), 772-784. <https://doi.org/10.35870/jimik.v6i1.1275>.
- [5] Fajar, M., Azhar, R., Anshori, Y., Laila, R., R., & Lapatta, N. T. (2025). Optimization of Inventory Management with QR Code Integration and Sequential Search Algorithm: A Case Study in a Regional Revenue Office. *Journal of Applied Informatics and Computing*, 9(2), 412-420. <https://doi.org/10.30871/jaic.v9i2.8919>.
- [6] Aditia, F., Yunita, F., Ilyas, I., & Rozi, M. S. (2024). Sistem Informasi Perpustakaan Menggunakan QR Code pada SMP Negeri 6 Kempas Berbasis Web. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3S1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3S1.5273>.
- [7] Aswathy, K. R. Shaji, Shaji, A. M., M, A. & K, B. (2025). Smart Inventory Management System. *Interantional Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 9(4), 1-9. <https://doi.org/10.55041/IJSREM44229>.
- [8] Ruas, T. & Grosky, W. I. (2020). *Software Engineering: A Practitioner's Approach 9 th Edition*. McGraw-Hill.
- [9] Wahyudin, A., Anisyah, A., & Ahmaddifa, D. (2024). Pengembangan Sistem Notifikasi Real-Time untuk Aplikasi Manajemen Persuratan Multiplatform menggunakan Firebase Cloud Messaging dan Application Programming Interface. *Jurnal Teknik Informatika UNIKA Santo Thomas*, 10(1), 284-300.
- [10] Purba, D. A., & Hidayasari, N. (2026). Implementation of Role-Based Access Control (RBAC) in a Drug Stock Management Information System. *Sistemasi: Jurnal Sistem Informasi*, 15(2), 684-698 <https://doi.org/10.32520/stmsi.v15i2.5958>.
- [11] Oracle. (n.d.). *MySQL*. MySQL. <https://www.mysql.com/>.
- [12] Hercog, D., Lerher, T., Truntic, M., & Tezak, O. (2023). Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices. *Sensors*, 23(15), 6739. <https://doi.org/10.3390/s23156739>.