

## ***Automation of Self-Service Book Borrowing and Return System at POLMAN Bandung Library***

### **Otomatisasi Layanan Mandiri Sistem Peminjaman dan Pengembalian Buku di Perpustakaan POLMAN Bandung**

Siti Aminah<sup>1\*)</sup>, M. Harry Khomas Saputra<sup>2)</sup> dan M. Daffa Taufiqulhakim<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Politeknik Manufaktur Bandung, Jl. Kanayakan No. 21 Dago Bandung 40135

Email: [siti@ae.polman-bandung.ac.id](mailto:siti@ae.polman-bandung.ac.id)

<sup>2)</sup> Politeknik Manufaktur Bandung, Jl. Kanayakan No. 21 Dago Bandung 40135

Email: [harry@ae.polman-bandung.ac.id](mailto:harry@ae.polman-bandung.ac.id)

<sup>3)</sup> Politeknik Manufaktur Bandung, Jl. Kanayakan No. 21 Dago Bandung 40135

Email: [daffa.taufiqulhakim@mhs.polman-bandung.ac.id](mailto:daffa.taufiqulhakim@mhs.polman-bandung.ac.id)

\*) *Corresponding author*

**Abstract:** *Technological developments have changed the library landscape, from traditional libraries to smart libraries. Smart libraries are libraries that use information and communication technology to improve efficiency, effectiveness, and user experience. However, the library service system in Polman Bandung has not fully utilized information and communication technology, so the service process is less than optimal. The library service system in Polman Bandung still uses a manual system, making it prone to errors in recording circulation data. The application of the Internet of Things with RFID technology can be one solution to overcome the problem of a library service system that has not been fully digitized and automated. This technology has been used in various industrial sectors, one of which is in library services, from self-checkout to book locating, so that most library services are self-service based. This study aims to develop by designing an automated book borrowing and returning system (Automated Storage & Retrieval System) to improve the efficiency and effectiveness of librarian services by digitizing services from manual to self-service that will become part of a smart library. The VDI 2206 methodology in this study can integrate the mechanical, electrical, and informatics designs needed for a self-service library service system. The results of the self-service system testing include a loan system with a success rate of 84% with an average time of 31.6 seconds per book, while the return system achieved a success rate of 88% with an average time of 47 seconds per book. This system has been proven to be able to speed up the loan process by up to 65% and returns by up to 22% compared to manual methods. These results indicate that the system is able to work stably and efficiently, and can help librarians in reducing workloads and improving the quality of library services through automation and digitalization of the book circulation process.*

**Keywords:** *Smart Library, Radio Frequency Identification (RFID), Automated Storage & Retrieval System (AS/RS), Internet of Things (IoT).*

**Abstrak:** Perkembangan teknologi telah mengubah lanskap perpustakaan, dari perpustakaan tradisional menjadi *smart library*. *Smart library* merupakan perpustakaan yang menggunakan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan efisiensi, efektivitas, dan pengalaman penggunaannya. Namun, sistem pelayanan perpustakaan di Polman Bandung belum sepenuhnya memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi, sehingga proses pelayanan menjadi kurang optimal. Sistem pelayanan perpustakaan di Polman Bandung masih menggunakan sistem manual, sehingga rentan terjadi kesalahan dalam pencatatan data sirkulasi. Penerapan *Internet of Things* dengan teknologi RFID dapat menjadi salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan sistem pelayanan perpustakaan yang belum sepenuhnya terdigitalisasi dan otomatisasi. Teknologi tersebut telah dimanfaatkan di berbagai sektor industri, salah satunya pada pelayanan perpustakaan, dari *self-checkout* hingga *book locating*, sehingga pelayanan perpustakaan kebanyakannya menjadi berbasis *self-service*. Penelitian ini bertujuan melakukan pengembangan dengan merancang bangun sistem otomatisasi peminjaman dan pengembalian buku (*Automated Storage & Retrieval System*) untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pelayanan pustakawan dengan digitalisasi pelayanan dari manual menjadi *self-service* yang akan menjadi bagian dari *smart library*. Metodologi VDI

2206 dalam penelitian dapat mengintegrasikan perancangan mekanik, elektrik dan informatik yang dibutuhkan sistem *self-service* layanan perpustakaan. Hasil pengujian sistem *self-service* meliputi sistem peminjaman memiliki tingkat keberhasilan 84% dengan waktu rata-rata 31,6 detik per buku, sedangkan sistem pengembalian mencapai tingkat keberhasilan 88% dengan waktu rata-rata 47 detik per buku. Sistem ini terbukti mampu mempercepat proses peminjaman hingga 65% dan pengembalian hingga 22% dibandingkan metode manual. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja dengan stabil dan efisien, serta dapat membantu pustakawan dalam mengurangi beban kerja dan meningkatkan kualitas pelayanan perpustakaan melalui otomatisasi dan digitalisasi proses sirkulasi buku.

Kata Kunci: Smart Library, Radio Frequency Identification (RFID), Automated Storage & Retrieval System (AS/RS), Internet of Things (IoT).

DOI: <https://doi.org/10.37577/sainteks.v8i01.1060>

Received: 02, Tahun 2026. Accepted: 03, Tahun 2026.

Published: 03, Tahun 2026

## **PENDAHULUAN**

Perpustakaan memiliki peran strategis dalam pembangunan sumber daya manusia, khususnya dalam meningkatkan literasi dan akses terhadap informasi (A.A, 2023). Di tengah pesatnya perkembangan teknologi informasi, perpustakaan tidak lagi hanya berfungsi sebagai tempat penyimpanan buku, melainkan juga sebagai pusat layanan pengetahuan berbasis digital. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 43 Tahun 2007 tentang Perpustakaan Pasal 14 ayat 3 mengamanatkan bahwa setiap perpustakaan harus mengembangkan layanan perpustakaan sesuai dengan kemajuan teknologi informasi dan komunikasi (Indonesia, 2025). Transformasi perpustakaan tradisional menjadi *Smart Library* merupakan sebuah peluang untuk meningkatkan akses informasi dan literasi masyarakat di era digital. Salah satu langkah yang harus dilakukan adalah dengan menyediakan berbagai koleksi informasi, seperti buku, majalah, dan jurnal, yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat.

Dalam mendukung transformasi perpustakaan menuju layanan berbasis teknologi, penting untuk tetap menekankan nilai kegiatan membaca secara rutin sebagai salah satu cara utama memperoleh ilmu pengetahuan, terutama di era digital saat ini (Salmah, 2023). Meskipun teknologi informasi berkembang pesat, buku fisik tetap menjadi sarana pendidikan yang relevan karena mampu menyajikan informasi secara mendalam dan terstruktur—hal yang tidak selalu dapat ditemukan di internet (Prajawinanti, 2020). Oleh karena itu, pustakawan yang mampu memahami kebutuhan pemustaka secara baik akan memberikan layanan yang lebih relevan dan berkualitas (Rajawali Pers, 2021). Hal ini sejalan dengan amanat Undang-Undang Nomor 43 Tahun 2007 tentang Perpustakaan Pasal 14 ayat 4, yang menyatakan bahwa layanan perpustakaan harus diselenggarakan berdasarkan kebutuhan dan kepentingan pemustaka (Indonesia, 2025).

Perpustakaan Politeknik Manufaktur Bandung (Polman Bandung) merupakan salah satu fasilitas penunjang kegiatan akademik maupun non-akademik yang menyediakan koleksi buku yang cukup lengkap sesuai dengan bidang studi yang diajarkan. Perpustakaan ini berperan sebagai pusat sumber daya informasi bagi mahasiswa, dosen, dan staf, dengan berbagai layanan seperti peminjaman buku, layanan referensi, serta ruang baca. Namun, meskipun memiliki koleksi yang beragam dan layanan yang luas, perpustakaan Polman Bandung masih menghadapi tantangan dalam proses pengelolaan buku, khususnya pada sistem peminjaman dan pengembalian yang masih bersifat manual. Seluruh proses mulai dari pencatatan hingga penempatan kembali buku ke rak dilakukan oleh pustakawan tanpa bantuan sistem otomatisasi, sehingga berisiko menyebabkan kesalahan, keterlambatan, dan beban kerja yang tinggi.

Sistem peminjaman dan pengembalian buku secara manual menghadirkan berbagai permasalahan yang memengaruhi efisiensi operasional perpustakaan. Pertama, kesalahan dalam penempatan buku kerap terjadi karena proses yang bergantung sepenuhnya pada ketelitian pustakawan, sehingga buku bisa terselip atau salah rak. Kedua, waktu yang dibutuhkan untuk memindahkan buku dari troli ke rak sangat memakan waktu, terutama saat volume pengembalian

tinggi. Ketiga, penggunaan ruang penyimpanan yang tidak efisien menjadi kendala lain karena tidak adanya sistem pengaturan otomatis yang mengoptimalkan penataan buku. Permasalahan permasalahan ini menunjukkan perlunya solusi inovatif berupa otomatisasi untuk meningkatkan kecepatan, akurasi, dan efektivitas pengelolaan buku di perpustakaan Polman Bandung.

Salah satu solusi inovatif untuk menjawab permasalahan tersebut adalah dengan mengintegrasikan teknologi otomatisasi melalui sistem *Automated Storage and Retrieval System* (AS/RS). Teknologi ini memungkinkan buku disimpan dan diambil secara otomatis menggunakan mekanisme *linear actuator* dan rak yang dikendalikan oleh sistem terprogram. Dalam konteks perpustakaan, penerapan AS/RS mampu mengurangi beban kerja pustakawan, meminimalkan kesalahan penempatan buku, serta mempersingkat waktu dalam proses penyimpanan dan pengambilan buku. Dengan sistem ini, buku yang dikembalikan dapat langsung ditempatkan ke lokasi yang telah ditentukan secara otomatis berdasarkan klasifikasi atau kode tertentu, sehingga ruang penyimpanan pun dapat dimanfaatkan secara lebih optimal.

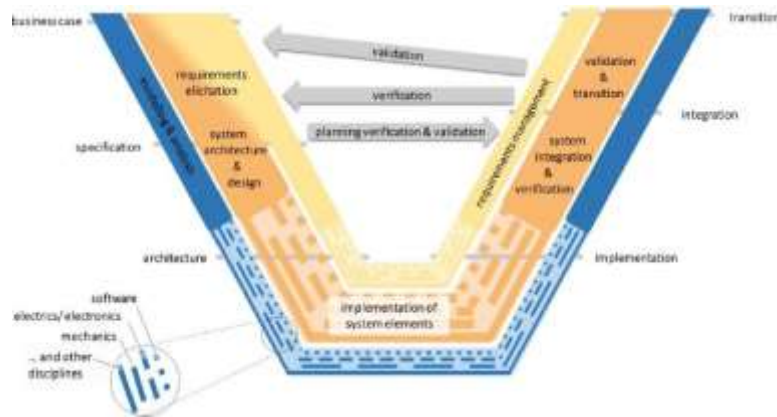
Dalam penerapannya, teknologi seperti RFID dimanfaatkan untuk membantu identifikasi buku secara cepat dan akurat, sehingga proses penyimpanan dan pencarian buku dapat dilakukan secara efisien. Penggabungan sistem ini menjadi salah satu elemen penting dalam konsep *Smart Library* karena mampu meningkatkan kecepatan layanan, mengurangi kesalahan, serta mengoptimalkan ruang penyimpanan yang tersedia.

Penelitian mengenai penerapan teknologi AS/RS dalam sistem pengambilan dan pengembalian barang di ruang penyimpanan telah banyak dilakukan dan menunjukkan hasil yang positif dalam meningkatkan efisiensi sistem. Salah satunya adalah penelitian oleh Emil Naf'an (2021), yang mengembangkan sistem penampung buku berbasis *bookdrop*. Sistem ini menggunakan motor DC untuk menggerakkan alas penampung yang secara otomatis menyesuaikan posisinya berdasarkan ketebalan buku yang masuk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu bekerja dengan baik dan menahan beban hingga 22 kg, dengan kapasitas antara 30 hingga 50 buku tergantung ukurannya (Naf'an, 2021). Pada penelitian tersebut terdapat kekurangan dimana belum memiliki mekanisme pengklasifikasian buku berdasarkan rak penyimpanannya, karena semua buku dikumpulkan dalam satu penampungan. Selain itu, penelitian oleh Nuri Hadiatiningsih (2019) mengembangkan sistem peminjaman alat praktikum berbasis web dan RFID. Sistem ini mendapatkan respons yang sangat baik dari pengguna, dengan tingkat efektivitas dan efisiensi mencapai 92,5% dan tingkat kepuasan pengguna terhadap aspek kegunaan, kenyamanan, serta kepercayaan berada pada angka 85,3% (Aminah, 2019). Berdasarkan hasil kedua penelitian tersebut, teknologi AS/RS dapat dijadikan acuan dalam merancang sistem peminjaman dan pengembalian buku yang lebih otomatis dan efisien, dengan mengembangkan sistem berbasis pergerakan motor.

Penelitian terdahulu yang mengembangkan sistem penyimpanan dan pengembalian otomatis (*Automated Storage and Retrieval System*) masih berfokus pada bagian yang terpisah antara perangkat lunak dan perangkat secara fisik yang dibutuhkan sistem perpustakaan *self-service*. Penelitian yang dilakukan Naf'an (2021) hanya mengembangkan sistem penampungan buku otomatis tanpa mekanisme klasifikasi dan penempatan buku ke rak secara spesifik. Sementara, penelitian oleh Hadiatiningsih (2019) lebih menitikberatkan pada sistem informasi berbasis RFID tanpa integrasi dengan sistem mekanik untuk proses penyimpanan dan pengambilan buku secara fisik. Oleh karena itu, terdapat kesenjangan penelitian dalam pengembangan sistem perpustakaan yang mengintegrasikan teknologi RFID, *Internet of Things* (IoT), serta mekanisme AS/RS secara menyeluruh, baik pada aspek perangkat lunak maupun perangkat keras. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan merancang dan mengimplementasikan sistem otomatisasi layanan *self-service* yang mampu melakukan proses peminjaman, pengembalian, serta penyimpanan buku secara terintegrasi dan *real-time*.

## METODOLOGI

Perancangan sistem menggunakan metode VDI 2206 yang merupakan pedoman dalam pembuatan alat sistem peminjaman dan pengembalian buku otomatis ini. Mekatronika digunakan sebagai ilmu pengetahuan yang merupakan kombinasi sinergis dari teknik mesin, kontrol elektronik, dan desain perangkat lunak dalam pengembangan produk dan proses manufaktur (Cintra, 2023).

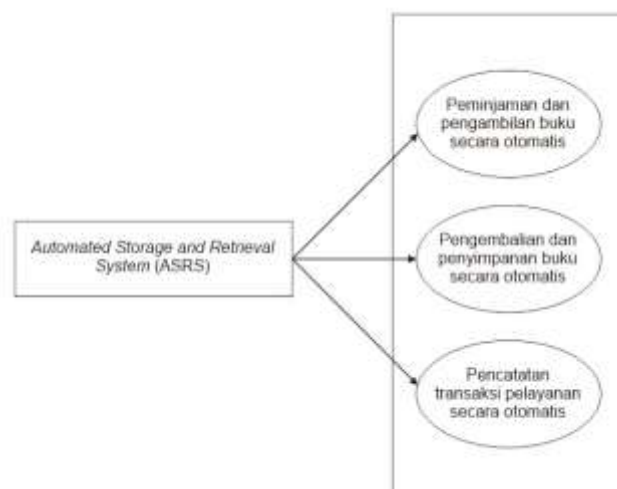


Gambar 1. Metode VDI2206 (Indoware, 2025)

Metode ini terdiri dari enam prosedur utama. Pertama, menjelaskan tugas dan fungsi sistem yang akan dirancang dan diimplementasikan (Requirements). Kedua, menyusun konsep awal dan gambaran umum dari sistem secara keseluruhan (System Design). Ketiga, memilih berbagai komponen yang akan digunakan dalam sistem, baik dalam domain mekanik, domain elektrik dan domain informatik (Domain-Specific Design). Keempat, melakukan integrasi (System Integration) berbagai komponen yang dipilih pada tahap domain-specific design, setelah itu dilakukan verifikasi dan validasi (Verification/Validation). Terakhir, produk akhir merupakan hasil dari implementasi sistem yang telah terintegrasi sepenuhnya (Assurance of Properties). Langkah-langkah proses perancangan yang dilakukan sesuai dengan tahapan Metode VDI 2206, sebagai berikut (Aminah, 2019):

### Product Requirement

Pada tahap ini dilakukan proses perancangan kebutuhan penelitian dengan mengacu pada metodologi VDI 2206 untuk mendapatkan spesifikasi alat sistem peminjaman dan pengembalian buku otomatis berdasarkan tuntutan kebutuhan di perpustakaan. Rancangan ini dibuat kedalam bentuk use case diagram untuk penjelasan secara umum dan tuntutan kebutuhan untuk penjelasan secara detail.



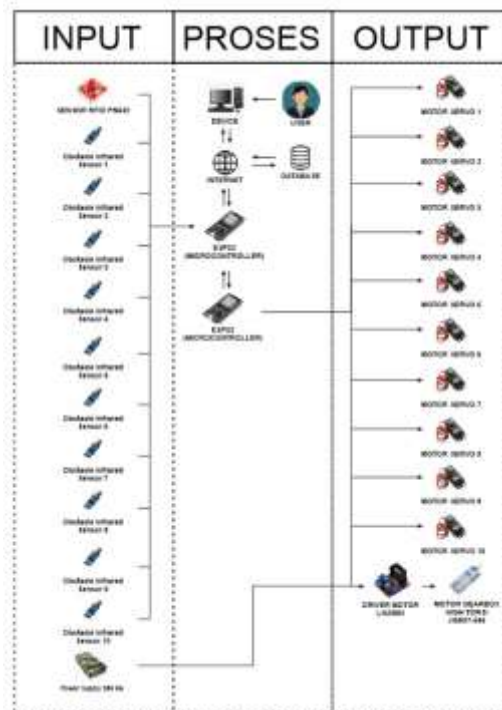
Gambar 2. Use Case fungsi

Use case fungsi tersebut menjelaskan fungsi dasar pada alat sistem peminjaman dan pengembalian buku otomatis. Pada use case diagram tersebut hardware mempunyai 3 fungsi utama, yaitu dapat melakukan peminjaman dan pengambilan buku secara otomatis, pengembalian dan penyimpanan buku secara otomatis, dan menjadikan pencatatan transaksi dari pelayanan tersebut terdigitalisasi secara otomatis.

### System Design

Perancangan sistem ini mengacu pada pendekatan arsitektur tiga bagian, yaitu input, proses, dan output. Pendekatan ini bertujuan untuk mengelompokkan fungsi komponen sistem secara terstruktur berdasarkan peran dan alur informasi yang terlibat. Dengan membagi sistem ke dalam tiga bagian ini, rancangan dapat lebih mudah dianalisis, diimplementasikan, dan diintegrasikan. Penjabaran dari masing-masing bagian pada alat sistem peminjaman dan pengembalian buku otomatis ditampilkan dalam gambar 3.

Gambar 3. menunjukkan arsitektur sistem peminjaman dan pengembalian buku otomatis yang terdiri atas tiga bagian utama, yaitu input, proses, dan output. Pada bagian input, sistem menerima data atau sinyal dari lingkungan luar melalui berbagai komponen. Sensor RFID PN532 digunakan untuk membaca tag RFID yang terdapat pada stiker buku. Tag pada buku menyimpan informasi identitas buku serta lokasi rak penyimpanan yang tersimpan dalam database. Selain itu, terdapat sepuluh sensor infrared yang terbagi menjadi dua kelompok. Lima sensor dipasang di area konveyor untuk mendeteksi keberadaan buku selama proses peminjaman dan pengembalian, sedangkan lima sensor lainnya dipasang di area rak untuk memastikan buku telah diambil atau dikembalikan pada tempat yang sesuai. Sensor-sensor ini menghasilkan sinyal digital sebagai input tambahan yang membantu sistem menentukan kapan motor harus berhenti atau bergerak. Di sisi lain, sistem juga dilengkapi dengan power supply 24V 5A yang berfungsi sebagai sumber daya utama, khususnya untuk menggerakkan motor gearbox melalui driver motor L298N dan motor-motor servo.



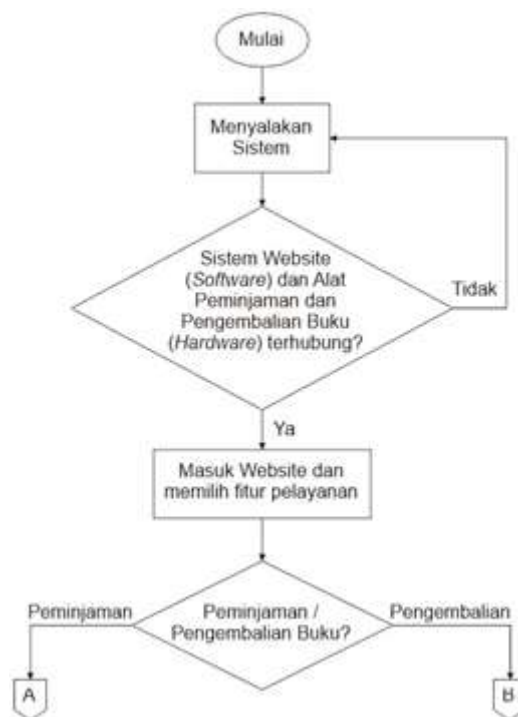
Gambar 3. Arsitektur Sistem

Bagian proses merupakan inti dari sistem yang dikendalikan oleh dua buah mikrokontroler ESP32. Pembagian kerja dilakukan berdasarkan jenis layanan, di mana satu ESP32 bertanggung

jawab mengatur seluruh rangkaian proses peminjaman buku dan ESP32 lainnya mengelola proses pengembalian buku. Kedua mikrokontroler ini menerima input dari sensor, memproses data sesuai logika sistem, dan mengendalikan perangkat output secara langsung. Selain itu, ESP32 juga terhubung ke jaringan internet untuk mengakses dan memperbarui data pada database yang tersimpan secara daring. Sistem ini dirancang agar dapat diakses melalui antarmuka web, sehingga pengguna dapat memicu proses peminjaman atau pengembalian secara otomatis. Walaupun tampilan antarmuka web menyajikan informasi kepada pengguna, dalam konteks arsitektur sistem, komponen seperti web server dan database termasuk ke dalam bagian proses karena keduanya berkontribusi dalam pengolahan data dan pengambilan keputusan.

Pada bagian output, sistem menghasilkan aksi berdasarkan hasil pemrosesan data. Output utama berupa sepuluh motor servo MG996R yang terbagi menjadi dua kelompok. Lima motor servo dipasang di konveyor dan berfungsi mendorong buku dari konveyor ke rak saat pengembalian. Lima motor servo lainnya dipasang di rak dan digunakan untuk mendorong buku dari rak ke konveyor pada saat peminjaman. Selain itu, terdapat satu buah motor gearbox JGB37-545 yang berperan sebagai penggerak utama konveyor dan dikendalikan melalui driver motor L298N. Seluruh aktuator ini bekerja secara otomatis dan terkoordinasi berdasarkan data yang diterima dan diproses oleh sistem.

Gambar 4. menunjukkan alur proses awal alat sistem peminjaman dan pengembalian buku otomatis. Proses dimulai ketika perangkat dinyalakan, baik dari sisi perangkat keras (hardware) maupun perangkat lunak (software). Setelah sistem aktif, langkah selanjutnya adalah memastikan konektivitas antara website layanan dan perangkat fisik *Automated Storage and Retrieval System* (AS/RS) yang menangani proses peminjaman dan pengembalian buku. Jika koneksi antara website dan perangkat berhasil dilakukan, maka pengguna dapat mengakses antarmuka website melalui perangkat yang tersedia.



Gambar 4. Diagram Alir Sistem Peminjaman dan Pengembalian Buku Otomatis



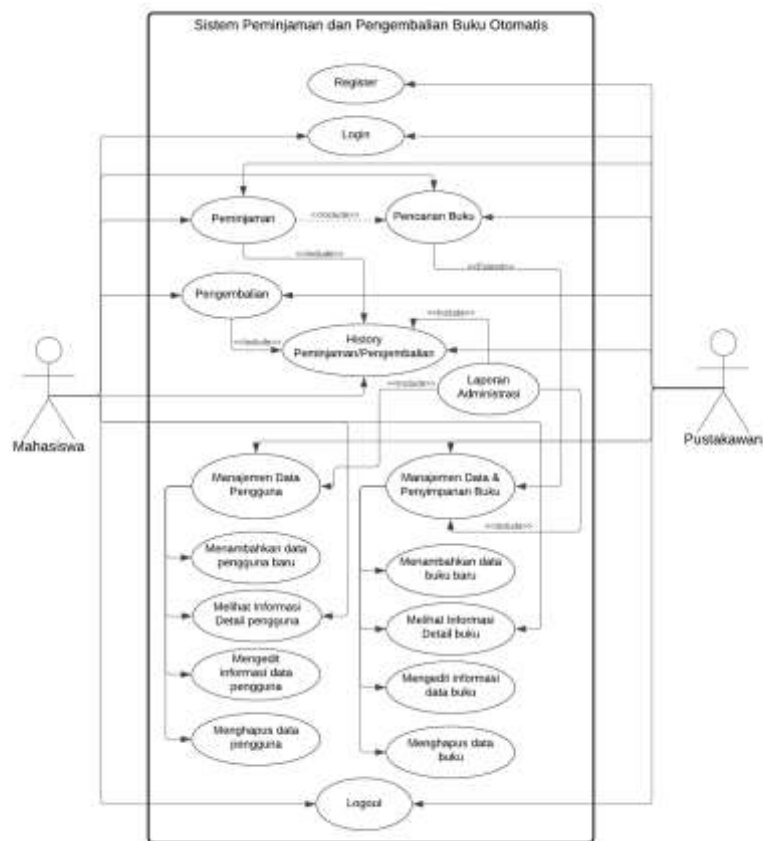
Gambar 4a. Peminjaman



Gambar 4b. Pengembalian

### Domain Specific Design

Tahap Perancangan Domain Specific terbagi 3 bagian yaitu: perancangan domain mekanik, elektrik dan informatik. Perancangan mekanik terbagi 2 modul utama, yaitu: (1) modul konveyor yang berfungsi sebagai jalur pengantaran buku dari dan menuju pengguna dalam proses peminjaman dan pengembalian, (2) modul rak yang difungsikan sebagai tempat penyimpanan buku. Selain itu, terdapat satu unit boks kontrol yang memuat komponen elektronik seperti power supply, terminal distribusi, mikrokontroler, dan driver motor, yang mendukung pengoperasian kedua modul tersebut. Perancangan sistem domain elektrik pada alat ini menggunakan dua buah mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali utama yang berfungsi untuk mengatur seluruh proses peminjaman dan pengembalian buku berdasarkan pembacaan sensor dan pengendalian aktuator. Setiap ESP32 mengelola input dari sensor-sensor inframerah dan output ke motor-motor servo yang terbagi satu sebagai pengendali sistem peminjaman dan satu sebagai pengendali sistem pengembalian buku. Terdapat sepuluh buah sensor infrared (obstacle infrared sensor) yang masing-masing terhubung ke pin input digital pada ESP32. Sensor ini berfungsi untuk mendeteksi keberadaan buku di lintasan konveyor dan di tiap rak. Selain itu, terdapat sebuah sensor RFID PN532 yang digunakan untuk membaca tag RFID pada buku. Sensor ini berkomunikasi dengan ESP32 menggunakan antarmuka I2C, yaitu melalui pin SDA dan SCL. Perancangan informatik berisikan rancangan diagram alir program untuk proses peminjaman dan pengembalian buku, rancangan antarmuka website untuk interaksi pengguna, serta struktur database yang digunakan untuk menyimpan dan mengelola data buku serta transaksi. Seluruh perancangan ini bertujuan untuk mendukung otomatisasi alat sistem peminjaman dan pengembalian buku secara efisien dan terintegrasi. Gambar 5 menunjukkan hasil perancangan domain informatik.

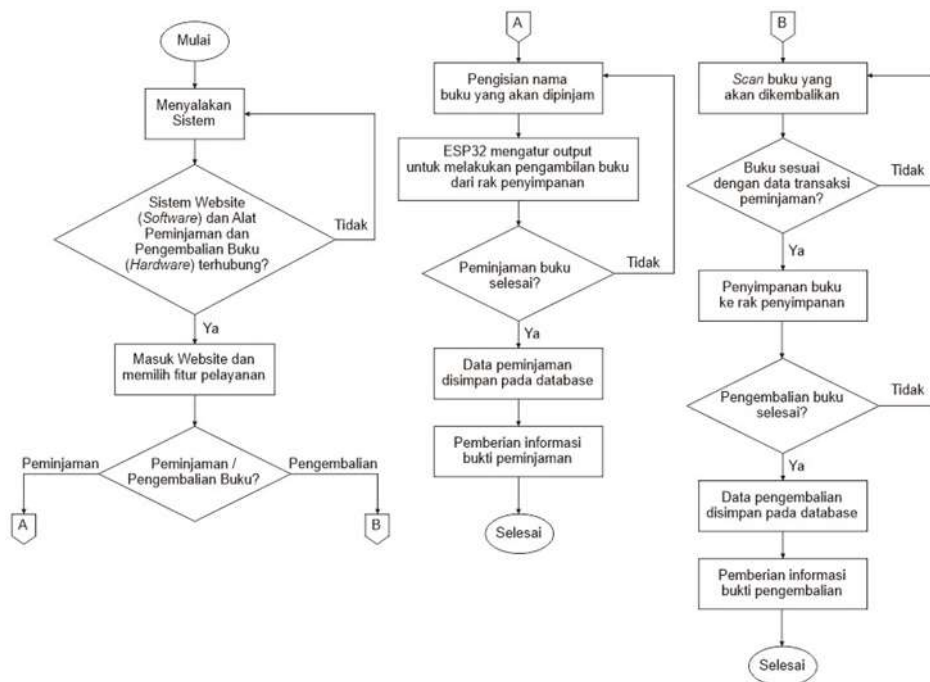


**Gambar 5. Use Case Antarmuka Sistem**

Use case diagram ini menggambarkan fitur-fitur utama dalam alat sistem peminjaman dan pengembalian buku otomatis beserta aktor yang terlibat, yaitu mahasiswa dan pustakawan (admin). Mahasiswa memiliki akses terhadap fitur seperti registrasi, login, pencarian buku, peminjaman, pengembalian, dan riwayat transaksi. Sementara itu, pustakawan memiliki akses yang lebih luas, mencakup pengelolaan data pengguna, manajemen buku, serta pembuatan laporan administrasi. Relasi <<include>> menunjukkan fitur bawaan yang wajib dijalankan dalam suatu proses, sedangkan <<extend>> menandai fitur tambahan yang muncul dalam kondisi tertentu. Diagram ini membantu memahami pembagian hak akses dan alur fungsionalitas sistem secara menyeluruh.

### ***System Integration***

Bagian rancangan sistem integrasi digambarkan dalam bentuk diagram alir berisikan informasi tentang komunikasi yang terjadi dari hardware hingga terhubung terhadap software. Gambar 6 dijelaskan mengenai diagram alir sistem integrasi antara software berupa website dan hardware berupa ASRS dari alat sistem peminjaman dan pengembalian buku otomatis. Proses diawali dengan mengaktifkan sistem, memastikan koneksi antara website dan alat berjalan dengan baik. Setelah itu, pengguna dapat mengakses website dan memilih layanan peminjaman atau pengembalian buku.



Gambar 6. Integrasi Sistem Hardware dan Software

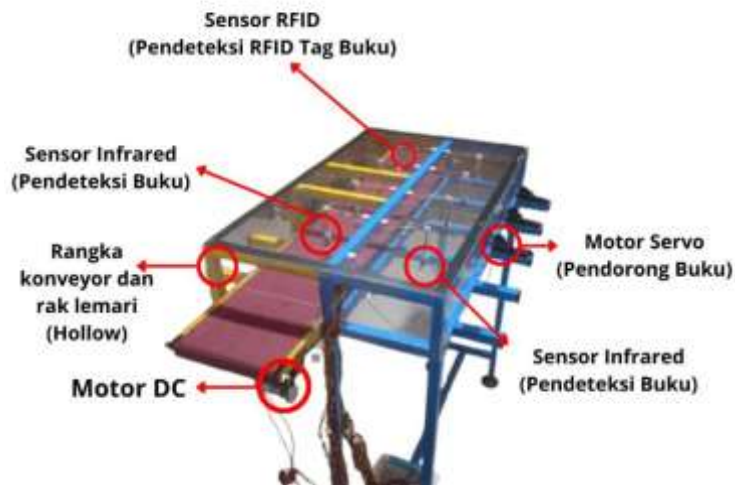
### Verification/Validation

Tahap verifikasi dan validasi, dilakukan evaluasi untuk memastikan bahwa sistem yang dirancang telah sesuai dengan spesifikasi teknis dan kebutuhan pengguna. Proses verifikasi dilakukan untuk mengecek apakah setiap komponen dalam sistem telah dibangun dengan benar sesuai rancangan, sementara validasi bertujuan memastikan sistem yang dibangun mampu memenuhi kebutuhan dan tujuan pengguna.

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

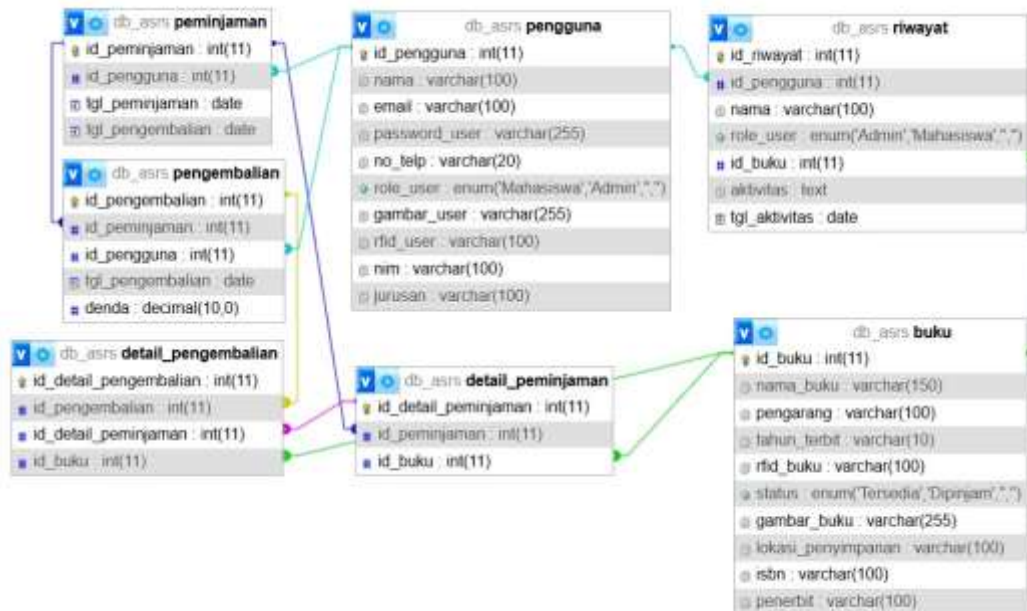
Semua rancangan yang telah dilakukan digunakan untuk menghasilkan sebuah alat sistem peminjaman dan pengembalian buku otomatis. Sistem ini berfungsi untuk melakukan proses pengambilan dan penyimpanan buku secara otomatis dari rak penyimpanan menggunakan prinsip kerja ASRS (*Automated Storage and Retrieval System*), sehingga menggantikan proses manual. Sistem dikendalikan melalui sebuah website sebagai antarmuka utama, yang memungkinkan pengguna dan petugas untuk melakukan berbagai aktivitas seperti peminjaman, pengembalian, monitoring status buku (tersedia atau sedang dipinjam), melihat informasi buku, riwayat transaksi, serta data keanggotaan perpustakaan. Produk akhir yang dihasilkan berupa prototipe sistem terintegrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak yang mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan sirkulasi buku di perpustakaan.

Hasil penelitian dilakukan pengujian yang bertujuan untuk untuk mengevaluasi kinerja, keandalan, dan efektivitas sistem peminjaman dan pengembalian buku otomatis yang telah dirancang. Pengujian dilakukan secara eksperimental terhadap prototipe dengan mensimulasikan kondisi operasional nyata di lingkungan perpustakaan. Metode pengujian yang digunakan adalah *black-box testing* untuk menguji fungsi sistem tanpa melihat struktur internal, serta *performance testing* untuk mengukur kinerja sistem berdasarkan waktu proses dan tingkat keberhasilan. Pengujian meliputi pengujian ketahanan mekanik aktuator; pengujian sensor RFID; pengujian proses peminjaman buku; pengujian proses pengembalian buku dan pengujian aplikasi perpustakaan *self-service* berbasis web.



Gambar 7. Hasil Perancangan Mekanik

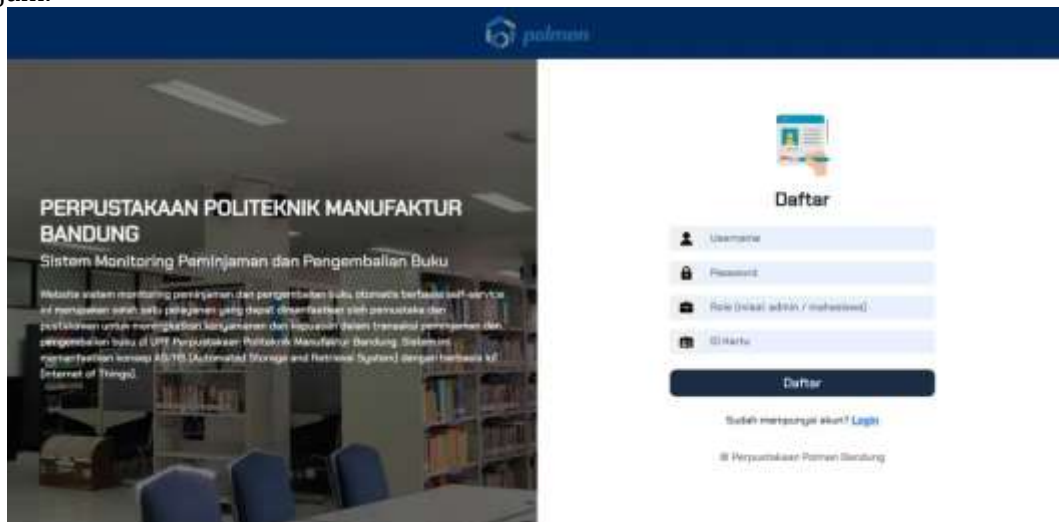
Implementasi pada aspek mekanik (Gambar 7.) meliputi pembuatan rangka yang menggunakan material hollow berukuran 3x3 cm sebagai struktur utama untuk rak penyimpanan buku, serta besi siku berukuran 3x3 cm untuk mendukung sistem konveyor. Tahap implementasi sistem informasi, dilakukan penerapan basis data yang sebelumnya telah dirancang. Database yang digunakan dinamakan db\_asrs, dan terdiri dari beberapa tabel yang saling terhubung untuk mendukung fungsionalitas sistem peminjaman dan pengembalian buku secara otomatis yaitu: “pengguna”, “buku”, “peminjaman”, “detail\_peminjaman”, “pengembalian”, “detail\_pengembalian”, dan “riwayat”. Tabel-tabel ini berperan penting dalam menyimpan data pengguna, buku, transaksi, dan riwayat aktivitas ditunjukkan Gambar 8.



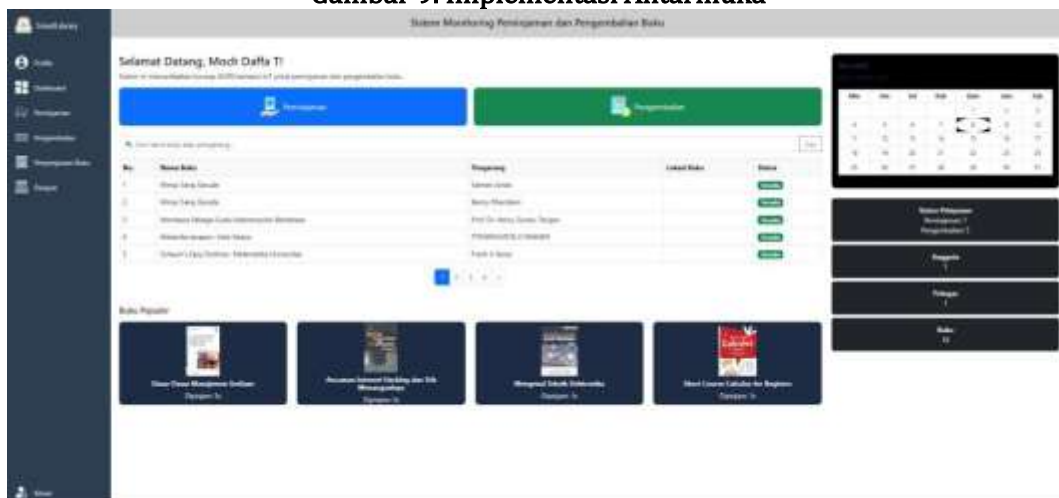
Gambar 8. Implementasi Database

Implementasi antarmuka disesuaikan dengan kebutuhan fungsional sistem guna mendukung operasional alat sistem peminjaman dan pengembalian buku otomatis. Dalam implementasi ini, diterapkan sistem level pengguna yang terdiri atas dua jenis, yaitu user dan admin, Gambar 9 merupakan pilihan untuk login sebagai pengguna sesuai level. Setelah proses

login berhasil, pengguna akan diarahkan ke halaman utama atau dashboard (Gambar 10), baik untuk akun dengan peran admin maupun user. Namun jika pengguna belum mempunyai akun, maka bisa dilakukan pendaftaran akun melalui halaman register. Halaman Dashboard berfungsi sebagai pusat kendali untuk melakukan berbagai aktivitas, seperti peminjaman dan pengembalian buku, melihat status buku, serta menampilkan statistik buku yang paling sering dipinjam.



Gambar 9. Implementasi Antarmuka



Gambar 10. Tampilan Dashboard

Pengujian sistem dilakukan bertujuan untuk memastikan bahwa alat sistem peminjaman dan pengembalian buku otomatis berfungsi dengan baik sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Pengujian ini mencakup beberapa aspek penting yang meliputi antarmuka, pembacaan sensor, peminjaman buku, pengembalian buku dan ketahanan mekanik motor.

Pengujian Tabel 1. menunjukkan bahwa pada jarak 5 mm hingga 35 mm, sensor berhasil membaca kode UID secara konsisten, dengan status sensor menampilkan "Ditemukan, siap baca UID" dan hasil pembacaan yang valid. Namun, pada jarak 40 mm ke atas, meskipun status sensor masih menunjukkan siap membaca UID, kode UID tidak terbaca. Dengan demikian, dari total 10 pengujian, sebanyak 7 pengujian berhasil, menghasilkan tingkat keberhasilan sebesar 70%. Hal ini mengindikasikan bahwa kemampuan pembacaan efektif sensor RFID PN532 berada pada jarak maksimal 35 mm, sedangkan pada jarak lebih dari itu, kinerja pembacaan menurun secara signifikan.

**Tabel 1. Pengujian sensor RFID PN532**

Ujicoba ke	Status Sensor	Jarak Pembacaan (mm)	Hasil
1	Ditemukan, siap baca UID	5	UID terbaca
2	Ditemukan, siap baca UID	10	UID terbaca
3	Ditemukan, siap baca UID	15	UID terbaca
4	Ditemukan, siap baca UID	20	UID terbaca
5	Ditemukan, siap baca UID	25	UID terbaca
6	Ditemukan, siap baca UID	30	UID terbaca
7	Ditemukan, siap baca UID	35	UID terbaca
8	Ditemukan, siap baca UID	40	UID tdk terbaca
9	Ditemukan, siap baca UID	45	UID tdk terbaca
10	Ditemukan, siap baca UID	50	UID tdk terbaca

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi keandalan sensor dalam mengenali keberadaan objek pada rentang jarak tertentu, sehingga dapat diketahui apakah sensor IR dapat digunakan secara efektif dalam sistem. Pengujian pada Tabel 2. menunjukkan bahwa sensor infrared berhasil mendeteksi objek pada seluruh jarak pengujian, yaitu mulai dari 5 cm hingga 30 cm. Dari enam percobaan yang dilakukan dengan jarak berbeda-beda, seluruhnya menunjukkan hasil "berhasil", menandakan bahwa sensor mampu bekerja secara konsisten dan andal dalam rentang jarak tersebut. Dengan tingkat keberhasilan 100%, dapat disimpulkan bahwa sensor infrared berfungsi dengan baik dan akurat untuk kebutuhan deteksi benda dalam sistem yang dirancang.

**Tabel 2. Pengujian sensor infrared**

Ujicoba ke	Jarak Pembacaan (mm)	Hasil
1	5	Terdeteksi
2	10	Terdeteksi
3	15	Terdeteksi
4	20	Terdeteksi
5	25	Terdeteksi
6	30	Terdeteksi

Pengujian peminjaman buku (Tabel 3.), dilakukan pengamatan kesesuaian data buku yang dipinjam dengan fisik buku yang keluar dari rak. Aspek yang diuji termasuk kesesuaian, kecepatan dan keberhasilan proses peminjaman buku. Pada kolom rak pertama, buku berjudul "Dasar-dasar Teknik Listrik" dengan dimensi panjang 21 cm, 14 lebar cm, dan berat 165,1 gram.

Pengujian tabel 3. menunjukkan bahwa hasil pengujian pada kolom buku pertama, diperoleh bahwa seluruh proses peminjaman buku berhasil dilakukan pada lima kali percobaan dengan tingkat keberhasilan 100%. Setiap percobaan menunjukkan bahwa sistem dapat mengidentifikasi buku melalui tag RFID dengan benar, mengubah status ketersediaan buku pada sistem web dari "Tersedia" menjadi "Dipinjam", serta menjalankan mekanisme pengambilan buku dari rak secara otomatis. Rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu proses peminjaman buku pada kolom pertama adalah  $\pm 27,96$  detik.

Pengujian penyimpanan buku sesuai dengan yang id rfid buku pada sistem web untuk dikembalikan. Pengujian ini mencakup monitoring status ketersediaan buku terhadap proses pengembalian buku. Pada pengujian ini, dilakukan pengamatan kesesuaian data buku yang dipinjam dengan fisik buku yang dikembalikan ke rak berdasarkan id rfid buku tersebut. Aspek yang diuji termasuk kesesuaian, kecepatan dan keberhasilan proses pengembalian buku. Pada kolom rak pertama, buku berjudul "Dasar-dasar Teknik Listrik" dengan dimensi panjang 21 cm, 14 lebar cm, dan berat 165,1 gram.

**Tabel 3. Pengujian Proses Peminjaman Buku Kolom Pertama**

Ujicoba ke	Proses Peminjaman Buku	Status Ketersediaan	Waktu Proses (detik)
1	Berhasil	Berubah 'Tersedia' Menjadi 'Dipinjam'	27,9
2	Berhasil	Berubah 'Tersedia' Menjadi 'Dipinjam'	28,1
3	Berhasil	Berubah 'Tersedia' Menjadi 'Dipinjam'	27,7
4	Berhasil	Berubah 'Tersedia' Menjadi 'Dipinjam'	28,2
5	Berhasil	Berubah 'Tersedia' Menjadi 'Dipinjam'	27,9

**Tabel 4. Pengujian Hasil Pengembalian Buku**

Ujicoba ke	Proses Pengembalian Buku	Status Ketersediaan	Waktu Proses (detik)
1	Berhasil	Berubah 'Dipinjam' Menjadi 'Tersedia'	41,1
2	Berhasil	Berubah 'Dipinjam' Menjadi 'Tersedia'	41,3
3	Berhasil	Berubah 'Dipinjam' Menjadi 'Tersedia'	40,8
4	Berhasil	Berubah 'Dipinjam' Menjadi 'Tersedia'	42,1
5	Berhasil	Berubah 'Dipinjam' Menjadi 'Tersedia'	41,7

Pengujian tabel 4. menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh, seluruh proses pengembalian berjalan berhasil 100% tanpa adanya kegagalan sistem dalam membaca dan memperbarui data

buku. Rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu proses pengembalian buku pada kolom 1 adalah sekitar 41,4 detik, dengan waktu tercepat 40,8 detik dan waktu terlama 42,1 detik. Seluruh percobaan menunjukkan konsistensi waktu proses yang stabil dengan selisih rata-rata hanya  $\pm 0,6$  detik antarpercobaan.

Pengujian Ketahanan Mekanik Pergerakan Motor dilakukan untuk memastikan bahwa komponen penggerak pada sistem dapat bekerja secara berulang tanpa penurunan performa atau kerusakan mekanik. Pengujian dilakukan pada dua jenis motor, yaitu motor servo (Tabel 4.) dan motor DC (Tabel 5.), dengan simulasi pergerakan berulang sebanyak 10 kali tanpa jeda.

**Tabel 5. Pengujian Ketahanan Mekanik Motor Servo**

Ujicoba ke	Beban Buku (gram)	Jumlah Pengujian	Waktu rata-rata (detik)	Kondisi Mekanik
1	165,1	10	6,58	Pergerakan normal & tidak mengalami kerusakan
2	178,8	10	6,69	Pergerakan normal & tidak mengalami kerusakan
3	184,9	10	6,86	Pergerakan normal & tidak mengalami kerusakan
4	363,1	10	6,96	Pergerakan normal & tidak mengalami kerusakan
5	367,3	10	7,10	Pergerakan normal & tidak mengalami kerusakan

Pengujian pada Tabel 5. menunjukkan bahwa tidak terdapat kerusakan mekanik pada percobaan pergerakan sebanyak 10 kali dengan variasi bobot buku. Hasil ini membuktikan bahwa komponen servo linear actuator pada sistem peminjaman dan pengembalian buku otomatis mampu menangani bobot buku dari ringan hingga berat dengan performa yang stabil.

**Tabel 6. Pengujian Ketahanan Mekanik Motor DC**

Ujicoba ke	Beban Buku (gram)	Jumlah Pengujian	Waktu rata-rata (detik)	Kondisi Mekanik
1	165,1	10	5,17	Seluruh pergerakan normal & tidak mengalami kerusakan
2	178,8	10	6,00	Seluruh pergerakan normal & tidak mengalami kerusakan
3	184,9	10	6,45	Seluruh pergerakan normal & tidak mengalami kerusakan
4	363,1	10	10,97	Seluruh pergerakan tersendat & selip pada pulley
5	367,3	10	11,64	Seluruh pergerakan tersendat & selip pada pulley

Pengujian pada Tabel 6. menunjukkan bahwa motor DC mampu menggerakkan konveyor dengan lancar pada beban buku di bawah 300 gram, dengan pergerakan normal dan tidak terjadi kerusakan mekanik selama 10 kali pengujian. Namun, pada beban buku di atas 300 gram, pergerakan konveyor menjadi lebih lambat dan tersendat akibat terjadinya selip pada transmisi belt dan pulley roller. Hal ini mengindikasikan bahwa motor DC tetap berfungsi dengan baik, tetapi sistem transmisi belum mampu mentransmisikan daya secara optimal untuk beban yang lebih berat. Dengan demikian, perlu dilakukan evaluasi pada komponen transmisi, seperti peningkatan daya cengkram belt atau penyesuaian spesifikasi motor, agar sistem dapat menggerakkan beban berat dengan lancar.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem peminjaman dan pengembalian buku otomatis menunjukkan kinerja yang baik dalam melakukan proses peminjaman dan pengembalian buku secara otomatis. Pengujian proses peminjaman buku secara keseluruhan,

tingkat keberhasilan proses peminjaman mencapai 84% dari total 25 kali percobaan dengan waktu rata-rata 31,6 detik per buku. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu mempercepat proses peminjaman hingga 65% lebih cepat dibandingkan dengan metode manual yang membutuhkan waktu rata-rata 1 menit 30 detik (90 detik) untuk satu buku. Pengujian proses pengembalian buku dengan 25 percobaan, sistem berhasil melakukan 22 kali pengembalian dengan sukses, sehingga menghasilkan tingkat keberhasilan rata-rata sebesar 88%. Bila dibandingkan dengan proses pengembalian manual yang memerlukan waktu rata-rata 1 menit detik (60 detik), sistem ini mampu mempercepat proses pengembalian hingga 22% lebih efisien. Motor DC yang digunakan menunjukkan kinerja yang stabil dalam menggerakkan buku ke posisi yang ditentukan, meskipun terjadi sedikit penurunan performa pada buku dengan berat di atas 360 gram, di mana pergerakan menjadi sedikit tersendat akibat selip pada pulley.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- A. A. & S. H. Moshood Yusuf (2023). Radio Frequency Identification (RFID) Based Library Management System, *Int. J. Technol. Syst.*, vol. 8, no. 2, pp. 21–35.
- A. C. Cintra Faria & S. C. M. Barbalho (2023) Mechatronics: A Study on Its Scientific Constitution and Association with Innovative Products,” *Appl. Syst. Innov.*, vol. 6, no. 4, doi: 10.3390/asi6040072.
- A. Prajawinanti (2020). Pemanfaatan Buku Oleh Mahasiswa Sebagai Penunjang Aktivitas Akademik Di Era Generasi Milenial, *Pustaka Karya J. Ilm. Ilmu Perpust. dan Inf.*, vol. 8, no. 1, pp. 25–32, doi: 10.18592/pk.v7i15.3757.
- E. Naf’an (2021). Rancang Bangun Alat Penampung Buku Berbasis Arduino pada Sistem Pengembalian Buku Layanan Mandiri,” *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, vol. 3, pp. 82–87, doi: 10.37034/jsisfotek.v3i2.48.
- J. Schöpfel (2018). Smart libraries, Infrastructures, vol. 3, no. 4, 2018, doi: 10.3390/infrastructures3040043.
- M. Bertolini, M. Neroni, & D. Uckelmann (2023) A survey of literature on automated storage and retrieval systems from 2009 to 2019, *Int. J. Logist. Syst. Manag.*, vol. 44, no. 4, pp. 514–552, doi: 10.1504/IJLSM.2023.130783.
- P. Indonesia (2025). Undang-Undang No 43 Tahun 2007 Tentang Perpustakaan, [https://jdih.perpusnas.go.id/file\\_peraturan/UU\\_No\\_43\\_Tahun\\_2007\\_tentang\\_Perpustakaan\\_n\\_.pdf](https://jdih.perpusnas.go.id/file_peraturan/UU_No_43_Tahun_2007_tentang_Perpustakaan_n_.pdf), diakses 17 Maret 2025.
- Salmah (2023). Peran perpustakaan daerah dalam meningkatkan minat baca masyarakat, *J. Lingk. Pendidik*, vol. 2, no. 1, <https://journal.unilak.ac.id/index.php/jlp>.
- S. Aminah, A. S. Sunarya, & N. Hadiatiningsih (2019). Perancangan Sistem Peminjaman Alat Praktikum Pada Laboratorium dengan Metode VDI 2206, *Seminar Nasional Informatika dan Aplikasinya (SNIA)*, pp. 6–10.
- Indoware (2025). Ultrasonic Ranging Module HC - SR04, <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>, diakses 7 Mei 2025.
- S. Susmiyati & Titi Kadi (2021). Layanan Perpustakaan: Upaya Meningkatkan Keberdayaan Perpustakaan Perguruan Tinggi di Era Digital, *Rajawali Pers*.