Purwarupa Loker Otomatis Berbasis Arduino Mega

Andre Ramadhan[1], John Adler[2]
[1,2] Program Studi Teknik Komputer, Universitas Komputer Indonesia,
Jl. Dipati Ukur 112-116, Bandung, (022)-2533754
e-mail: [1]andreramadhan718@gmail.com, [2]john.adler@email.unikom.ac.id.

Abstrak

Keamanan loker konvensional masih memiliki keterbatasan karena hanya mengandalkan kunci mekanis atau PIN sederhana yang rentan dibobol. Penelitian ini merancang sebuah purwarupa sistem loker otomatis berbasis Arduino Mega dengan autentikasi berlapis menggunakan Personal Input Number (PIN), Radio Frequency Identification (RFID), dan sidik jari. Tujuan utama dari sistem ini adalah meningkatkan keamanan penyimpanan barang pada fasilitas publik. Perancangan sistem melibatkan integrasi berbagai komponen, antara lain sensor sidik jari AS608, modul RFID MFRC522, keypad 4x4, relay, solenoid lock, Liquid Crystal Display (LCD) I2C, reed switch, serta buzzer yang dikendalikan oleh Arduino Mega. Data autentikasi disimpan pada EEPROM sehingga tetap aman meskipun terjadi pemutusan daya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keberhasilan autentikasi rata-rata sebesar 97% dengan waktu respon 1,2 detik. Selain itu, sensor magnetik dan buzzer berfungsi efektif sebagai deteksi pembobolan. Dengan demikian, purwarupa ini berhasil meningkatkan keandalan dan keamanan loker dibandingkan sistem konvensional.

Kata kunci*—Loker otomatis, Arduino Mega, Autentikasi, Radio Frequency Identification, sidik jari, PIN, keamanan*

Abstract

Conventional locker security systems still have limitations as they rely solely on mechanical keys or simple PIN codes, which are vulnerable to tampering. This study designed a prototype of an automatic locker system based on the Arduino Mega platform with multi-layered authentication using a Personal Input Number (PIN), Radio Frequency Identification (RFID), and fingerprint recognition. The primary objective of this system is to enhance the security of item storage in public facilities. The system integrates several hardware components, including an AS608 fingerprint sensor, MFRC522 RFID module, 4×4 keypad, relay, solenoid lock, I2C Liquid Crystal Display (LCD), reed switch, and buzzer, all controlled by the Arduino Mega microcontroller. Authentication data are stored in the EEPROM to ensure data persistence in the event of a power outage. Experimental results indicate that the system achieves an average authentication success rate of 97% with an average response time of 1.2 seconds. Furthermore, the magnetic sensor and buzzer function effectively as tamper detection mechanisms. Therefore, this prototype successfully enhances the reliability and security of lockers compared to conventional systems.

Keywords—*Automatic lockers, Arduino Mega, authentication, Radio Frequency Identification, fingerprint, PIN, security.*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Loker merupakan tempat penyimpanan serbaguna yang digunakan untuk menyimpan barang-barang pribadi hingga dokumen penting seperti surat, uang, dan benda berharga lainnya. Loker banyak digunakan di fasilitas publik seperti perpustakaan, tempat wisata, masjid, dan toko buku. Namun, sistem keamanan pada loker konvensional umumnya masih mengandalkan kunci mekanis atau Personal Identification Number (PIN) tunggal, yang rawan terhadap upaya pembobolan atau akses tidak sah. Hal tersebut menunjukkan bahwa sistem keamanan tradisional belum memiliki lapisan perlindungan ganda yang memadai untuk menjaga keamanan data maupun barang pengguna. Sebagai solusi terhadap permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan purwarupa sistem loker otomatis berbasis Arduino Mega dengan penerapan multi-factor authentication (MFA) yang menggabungkan tiga metode autentikasi, yaitu PIN, Radio Frequency Identification (RFID), dan biometrik sidik jari. Konsep autentikasi berlapis ini dinilai efektif dalam meningkatkan tingkat keamanan sistem karena melibatkan kombinasi faktor pengetahuan, kepemilikan, dan biometrik pengguna [1]. Menurut Das et al. [1], penggunaan MFA dalam sistem Internet of Things (IoT) mampu mengurangi risiko akses ilegal hingga 90% dibandingkan metode autentikasi tunggal.

Beberapa penelitian terdahulu juga telah menerapkan konsep serupa pada sistem loker pintar. Misalnya, studi oleh Khan *et al.* [2] mengembangkan IoT-Based Low-Cost Smart Locker Security System yang mengintegrasikan autentikasi berbasis RFID dan jaringan IoT untuk pemantauan jarak jauh. Penelitian lainnya oleh Sinha *et al.* [3]merancang Smart Locker Management System Using IoT yang memungkinkan sistem diakses dan dipantau melalui jaringan internet menggunakan sensor dan mikrokontroler. Selain itu, Gupta *et al.* [4]mengusulkan sistem loker terpusat berbasis RFID yang terhubung ke server pusat untuk mengontrol beberapa unit loker secara simultan.

Berdasarkan hasil-hasil penelitian tersebut, sistem loker otomatis yang dikembangkan dalam studi ini memiliki keunggulan berupa penerapan autentikasi tiga lapis (PIN, RFID, dan sidik jari) serta penyimpanan data pengguna pada EEPROM agar tetap aman meskipun terjadi pemutusan daya. Dengan kombinasi metode ini, sistem diharapkan dapat meningkatkan reliabilitas dan keamanan dibandingkan loker konvensional yang hanya mengandalkan satu metode autentikasi.

1.2 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang dihadapi dalam perancangan ini, sebagai berikut:

1. Sistem hanya menggunakan Arduino Mega sebagai pengontrol utama dengan daya pemrosesan dan memori yang terbatas.
2. Kapasitas penyimpanan data terbatas pada kemampuan memori internal Arduino Mega.
3. Sistem dirancang untuk penggunaan di dalam ruangan (*indoor*) karena keterbatasan lingkungan.
4. Sistem tidak memiliki cadangan daya dan tidak terintegrasi dengan jaringan internet atau aplikasi eksternal.

1.3 Penelitian Terdahulu

Tabel 1 Beberapa penelitian terdahulu

No	Peneliti & Tahun	Judul/Topik	Hasil Temuan
1	Ferry Sudarto et al., 2021	Smart Locker dengan Voice Access berbasis Arduino Mega [5]	Sistem dapat dikontrol dengan perintah suara dan jarak jauh via GSM, dilengkapi notifikasi SMS saat pembukaan paksa.

2	Deny Nusyirwan & Rifki T. Putra, 2020	Prototipe Loker RFID (LOPER ID) untuk Perpustakaan [6]	Loker terbuka menggunakan kartu anggota RFID; ditujukan untuk meningkatkan keamanan di perpustakaan.
3	M. Akbar et al., 2024	Sistem Keamanan Lemari Penyimpanan Barang [7]	Sistem menggunakan password untuk akses dan sensor ultrasonik untuk mendeteksi isi lemari, ditampilkan pada LCD.

Pada Tabel 1 di atas, terlihat bahwa:

1. Ferry Sudarto et al. (2021) mengusulkan sistem smart locker yang dapat diakses melalui perintah suara serta dikontrol jarak jauh menggunakan modul GSM. Sistem ini bahkan dilengkapi dengan notifikasi SMS untuk memberikan peringatan apabila terjadi pembukaan paksa. Penelitian ini menekankan pada aspek kenyamanan pengguna dan integrasi komunikasi jarak jauh sebagai fitur keamanan tambahan.
2. Deny Nusyirwan dan Rifki T. Putra (2020) merancang prototipe loker dengan menggunakan teknologi RFID. Sistem ini memungkinkan loker hanya dapat diakses oleh pengguna yang memiliki kartu anggota yang telah terdaftar. Meskipun relatif sederhana, penggunaan RFID dinilai efektif dalam meningkatkan keamanan loker di lingkungan perpustakaan.
3. M. Akbar et al. (2024) berfokus pada sistem keamanan lemari penyimpanan yang menggunakan password sebagai metode autentikasi. Sistem ini dipadukan dengan sensor ultrasonik untuk mendeteksi keberadaan barang di dalam lemari, dan informasi tersebut ditampilkan pada layar Liquid Crystal Display. Hal ini menambah nilai lebih pada sistem, tidak hanya dari sisi autentikasi, tetapi juga dari sisi monitoring isi lemari.

Dari ketiga penelitian yang relevan, dapat disimpulkan bahwa setiap sistem masih mengandalkan satu metode autentikasi utama. Oleh karena itu, penelitian ini hadir dengan menawarkan pendekatan yang lebih komprehensif melalui penerapan *multi-factor authentication* yang menggabungkan PIN, RFID, dan sidik jari, serta ditambah dengan sensor magnetik dan buzzer sebagai deteksi pembobolan. Dengan demikian, rancangan sistem pada penelitian ini diharapkan mampu memberikan tingkat keamanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya.

2. LANDASAN TEORI

Beberapa penjelasan teori-teori tentang alat-alat yang merupakan bagian dari perancangan sistem alat:

2.1 Transistor

Transistor adalah komponen elektronik semikonduktor yang digunakan untuk menguatkan, memutus, atau mengatur arus listrik. Transistor merupakan salah satu komponen paling penting dalam dunia elektronik dan banyak digunakan dalam rangkaian seperti amplifier, saklar elektronik, regulator tegangan, dan pemroses sinyal digital [8].

2.2 Arduino Mega

Arduino Mega 2560 merupakan mikrokontroler yang berbasis ATmega 2560 board ini memiliki 54 pin input ataupun output digital (15 diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 16 input analog, 4 UART (port serial perangkat keras), osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, colokan listrik, header ICSP, dan tombol reset. Board ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler; cukup hubungkan ke komputer dengan kabel USB atau daya

dengan adaptor AC-ke-DC atau baterai untuk memulai. Papan Mega 2560 kompatibel dengan sebagian besar pelindung yang dirancang untuk Uno dan papan sebelumnya *Duemilanove* atau *Diecimila* [9].

2.3 Sensor Sidik Jari

Sensor sidik jari adalah perangkat elektronik yang berfungsi mendeteksi sidik jari seseorang untuk keperluan verifikasi identitas. Setiap individu memiliki pola sidik jari yang unik, sehingga pola ini dapat digunakan sebagai kode pengenal yang membedakan satu orang dengan yang lainnya. Saat ini, teknologi sensor sidik jari telah banyak diterapkan pada berbagai perangkat, seperti smartphone, sistem akses pintu, alat absensi, serta perangkat lainnya yang memerlukan tingkat keamanan tinggi dan akses terbatas hanya bagi pengguna tertentu.

2.4 Keypad 4×4

Keypad 4x4 merupakan susunan 16 tombol yang dirancang dalam bentuk matriks untuk menghemat penggunaan jalur I/O pada mikrokontroler. Jika tombol-tombol tersebut tidak disusun dalam bentuk matriks, maka akan diperlukan 16 jalur input terpisah. Namun, dengan membentuk matriks 4 baris dan 4 kolom, hanya dibutuhkan 8 jalur saja, yaitu 4 untuk input dan 4 untuk output. Pengoperasian keypad ini dilakukan dengan metode pemindaian (*scanning*), di mana setiap baris atau kolom diberikan logika rendah (0V) secara bergantian. Saat salah satu baris atau kolom diberi logika 0, seluruh kolom atau baris lainnya diatur pada logika tinggi (1). Selanjutnya, sistem akan memeriksa nilai logika pada kolom atau baris yang bersangkutan. Jika terdeteksi adanya logika 0, itu menandakan bahwa tombol pada posisi tersebut sedang ditekan.

2.5 Relay

Relay merupakan sebuah saklar yang dikendalikan secara elektrik dan tergolong sebagai komponen elektromekanis, karena terdiri dari dua bagian utama: kumparan elektromagnetik (*coil*) dan bagian mekanis berupa kontak saklar. Relay bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik, di mana arus listrik kecil digunakan untuk mengaktifkan elektromagnet, yang kemudian menggerakkan kontak saklar. Dengan cara ini, relay memungkinkan pengendalian arus listrik bertegangan tinggi menggunakan sinyal berdaya rendah.

2.6 Solenoid Lock

Solenoid lock adalah pengunci pintu yang menggunakan sistem solenoid untuk mengunci pintu secara elektronik. Solenoid lock memiliki dua sistem kerja, yaitu *normaly close* (NC) dan *normaly open* (NO).

2.7 Liquid Crtystal Display

LCD *(Liquid Crystal Display)* adalah jenis layar panel datar yang menggunakan kristal cair untuk menghasilkan gambar. Kristal cair tersebut tidak memancarkan cahaya sendiri, melainkan mengontrol cahaya latar *(backlight)* untuk menampilkan gambar atau informasi. LCD banyak digunakan pada berbagai perangkat elektronik seperti *smartphone*, televisi, monitor komputer, kalkulator, dan panel instrumen karena konsumsi dayanya rendah, ukuran yang tipis, serta mampu menghasilkan tampilan yang tajam dan jernih.

2.8 Catu Daya

Catu Daya adalah perangkat yang berfungsi untuk menyediakan sumber tegangan dan arus listrik ke sistem atau perangkat elektronik lainnya. Fungsinya meliputi mengubah sumber listrik dari AC (arus bolak-balik) menjadi DC (arus searah) yang dibutuhkan oleh komponen elektronik, serta menjaga kestabilan tegangan agar tidak merusak sistem.

2.9 Buzzer

Buzzer adalah komponen yang mengubah getaran listrik menjadi suara. Buzzer sering digunakan dalam perangkat elektronik seperti komputer, jam alarm, dan perangkat rumah tangga. Buzzer bekerja dengan menggunakan mekanisme mekanis, piezoelektrik, atau electromagnet.

2.10 Kabel Jumper

Kabel jumper adalah jenis kabel elektrik yang dilengkapi dengan konektor pin di kedua ujungnya, sehingga memungkinkan penghubungan antar komponen dalam suatu rangkaian elektronik, khususnya pada proyek berbasis Arduino, tanpa perlu proses penyolderan. Secara umum, kabel ini berfungsi sebagai konduktor listrik yang digunakan untuk menyambungkan arus antar bagian rangkaian dengan cara yang praktis dan fleksibel.

2.11 Sensor Magnetik

Sensor magnetik merupakan saklar listrik yang diaktifkan oleh keberadaan medan magnet. Salah satu jenis sensor magnetik yang umum digunakan adalah *reed switch*, yaitu komponen yang terdiri atas dua kontak logam feromagnetik yang tertutup rapat di dalam tabung kaca untuk melindungi dari faktor lingkungan eksternal. Ketika medan magnet mendekati *reed switch*, kedua kontak logam tersebut bergerak saling mendekat hingga bersentuhan, sehingga menutup sirkuit dan memungkinkan arus listrik mengalir. Sensor ini banyak digunakan dalam sistem keamanan, seperti sensor pada pintu dan jendela, serta dalam berbagai aplikasi elektronik lainnya, berkat keandalannya, umur operasional yang panjang, dan konsumsi daya yang rendah.

2.12 Magnet

Magnet adalah suatu benda yang memiliki kemampuan untuk menarik material tertentu, terutama yang mengandung feromagnetik seperti besi, nikel, dan kobalt. Magnet memiliki dua kutub, yaitu kutub utara dan kutub selatan, dan medan magnet dihasilkan karena pergerakan elektron di dalam atom.

2.13 Radio Frequency Identification

RFID *(Radio Frequency Identification)* adalah teknologi identifikasi otomatis yang menggunakan gelombang radio untuk membaca dan menyimpan data pada sebuah objek melalui tag *(label)* zs tanpa memerlukan kontak fisik langsung.

3. PERANCANGAN ALAT

3.1 Bahan dan Alat

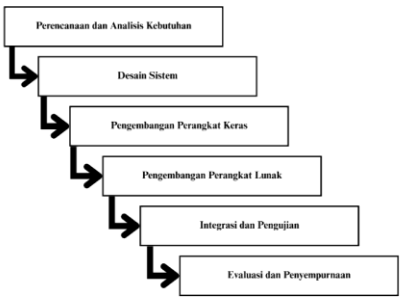
Tabel 2 berikut merupakan bahan dan alat yang dibutuhkan dalam penelitian ini.

Tabel 2 Bahan dan Alat

No	Bahan dan Alat	Jumlah	Bahan	Jumlah
1	Arduino Mega	1 buah	Magnet	1 buah
2	Sensor Sidik Jari	1 buah	Kabel Jumper	31 buah
3	Keypad 4×4	1 buah	Breadboard	1 buah
4	Relay	1 buah		
5	Solenoid Lock	1 buah		
7	LCD	1 buah		
8	Buzzer	1 buah		
9	Sensor Magnetik	1 buah		
10	RFID	1 buah		

3.2 Tahapan Penelitian

Penelitian proyek ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan utama, yaitu perencanaan, pengembangan, pengujian, dan evaluasi. Setiap tahapan dirancang dengan tujuan yang terukur serta terstruktur, sehingga secara keseluruhan mendukung tercapainya keberhasilan sistem yang dikembangkan. Diagram alir tahapan pelaksanaan ditunjukkan pada **Error! Reference source not found.** di bawah ini.



Gambar 1 Diagram Tahap Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa sistem yang terdiri dari beberapa tahap utama, yaitu:

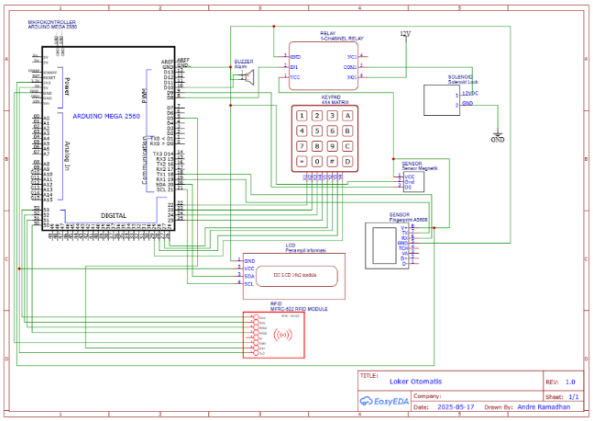
1. Analisis kebutuhan sistem, untuk mengidentifikasi komponen yang diperlukan dalam perancangan loker otomatis.
2. Perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, meliputi pembuatan skematik rangkaian, pengkodean program Arduino, dan integrasi modul autentikasi.
3. Implementasi sistem, yaitu perakitan komponen sesuai rancangan dan pengujian fungsi dasar.
4. Pengujian dan evaluasi sistem, dilakukan dengan mengukur tingkat keberhasilan autentikasi serta respon sistem terhadap skenario pembobolan.

3.2.1 Perancangan Alat

Perancangan alat bagian ini memuat tentang perancangan skematik alat, perancangan mekanik, diagram blok, cara kerja alat, dan flowchart.

3.2.1.1 Skematik Alat

Pada bagian ini merupakan rancangan skematik alat dari purwarupa loker otomatis dibuat di EasyEDA yang terdiri dari keypad, sensor sidik jari, RFID, sensor magnetik, LCD, relay, solenoid lock, dan buzzer yang terhubung ke mikrokontroller Arduino Mega 2560. Dengan dibuatnya skematik ini bertujuan untuk menggambarkan koneksi antar komponen agar alat ini dapat bekerja dengan optimal. Skematik dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar 2 Skematik Loker Otomatis

Kemudian keterangan pin yang dipakai ada pada tabel di bawah.

Tabel 2 Tabel Keterangan PIN

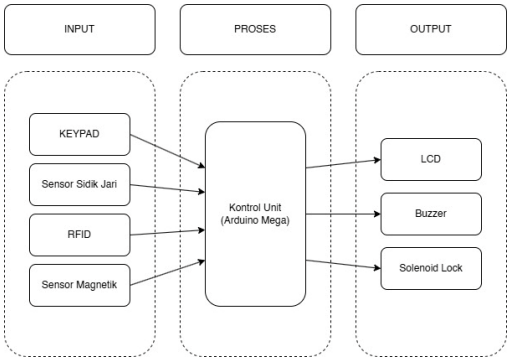
No	Komponen	Nama Pin	Pin pada Arduino Mega
1	Sensor Sidik Jari	RX	18
		TX	19
2	Keypad	R1	22
		R2	23
		R3	24
		R4	25
		C1	26
		C2	27
		C3	28
		C4	29
3	RFID	SDA	53
		SCK	52
		MOSI	51
		MISO	50
		RST	5
4	LCD	SDA	20
		SCL	21
5	Relay	IN	8
6	Sensor Magnetik	DO	9
7	Buzzer	VCC	10

3.2.1.2 Perancangan Mekanik

Bagian ini diperlihatkan bagaimana citra tiga dimensi yang mendekati dari hasil alat purwarupa loker otomatis nantinya. Citra tiga dimensi terdiri dari tampak depan, tampak samping, dan perspektif sebagaimana ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

3.2.1.3 Diagram Blok

Blok diagaram pada gambar di bawah. menjelesakan secara sederhana tentang bagaimana struktur alat yang akan dirancang. Setiap blok mempunyai fungsi tersendiri, diagram blok ini terdiri dari tiga bagian yaitu input, proses, dan output.



Gambar 3 Diagram Blok Sistem

Di bawah ini penjelasan dari setiap fungsi pada diagram blok sistem diantaranya:

1. Bagian input yaitu:
   a. Keypad, berfungsi sebagai masukan Password atau PIN untuk membuka loker otomatis.
   b. Sensor sidik jari, dimulai dengan membaca sensor, lalu menyimpan ID dari sidik jari tersebut ke dalam arduino agar saat ingin membuka kembali loker tersebut maka ID yang tersimpan akan dicocokan dengan ID sidik jari yang sudah kita daftarkan.
   c. RFID, membaca frekuensi radio yang dihasilkan dari suatu kartu dan disimpan ke Arduino Mega saat ingin dipakai kembali maka ID yang tersimpan dapat membuka kunci tersebut.
   d. Sensor Magnetik digunakan sebagai sensor bukaan dimana adanya pembukaan paksa tanpa adanya proses autentikasi dari metode yang sudah dipilih maka buzzer akan berbunyi sebagai tanda bahwa adanya pembukaan paksa.
2. Bagian proses yaitu kontrol unit yang digunakan pada alat ini adalah Arduino Mega yang berfungsi sebagai pemrosesan dari input dan output yang ada pada diagram blok.
3. Bagian output yaitu:
   a. Sensor Magnetik, digunakan sebagai sensor bukaan dimana adanya pembukaan paksa tanpa adanya proses autentikasi dari metode yang sudah dipilih maka buzzer akan berbunyi sebagai tanda bahwa adanya pembukaan paksa.
   b. LCD, digunakan untuk penampil informasi, dan hasil proses dari input dan kontrol unit, juga sebagai indikasi untuk memilih metode yang ingin dilakukan ada 3 metode yang bisa dilakukan yaitu, PIN, RFID, dan sensor sidik jari.
   c. Buzzer sebagai indikator dari hasil proses input berupa sensor magnetik dimana jika ada pembukaan paksa dari loker otomatis tersebut maka Buzzer akan segera aktif untuk mempringatkan bahwa adanya pembukaan paksa tanpa metode auntentikasi dari PIN, RFID, dan sensor sidik jari.
   d. *Solenoid Lock*, berguna untuk kunci dari loker otomatis ini, *Solenoid lock* ini akan aktif bila terbaca proses dari *input*

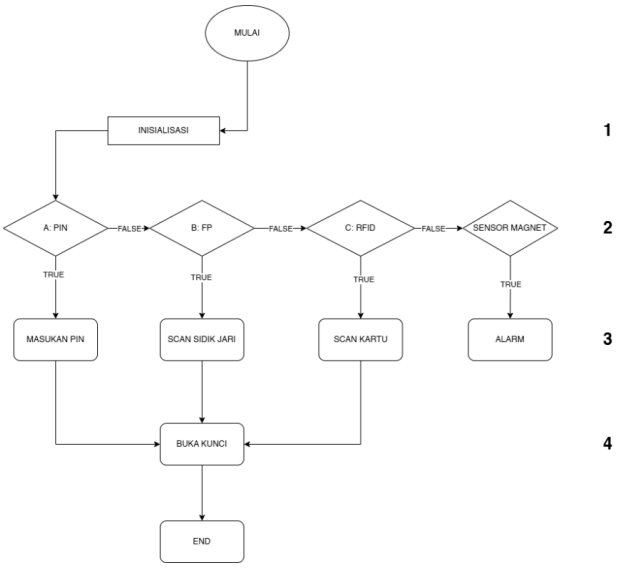
3.2.1.4 Flowchart

Flowchart pada Gambar 4 menggambarkan tahapan penelitian dan proses kerja sistem loker otomatis berbasis Arduino Mega secara menyeluruh. Diagram ini memvisualisasikan urutan langkah mulai dari inisialisasi perangkat, pemilihan metode autentikasi (PIN, RFID, atau sidik jari), hingga penguncian dan deteksi pembobolan. Dengan adanya flowchart ini, tahapan penelitian yang meliputi perancangan, implementasi, dan pengujian sistem dapat divisualisasikan

secara sistematis. Selain itu, diagram ini juga menunjukkan bagaimana sistem merespons kondisi abnormal, seperti pembukaan paksa yang terdeteksi oleh sensor magnetik (reed switch), melalui aktivasi alarm sebagai bentuk peningkatan keamanan.

Pengujian dilakukan dengan skenario sebagai berikut:

- Uji autentikasi PIN: pengguna memasukkan PIN yang tersimpan di sistem.
- Uji autentikasi RFID: pengguna menempelkan kartu RFID yang terdaftar.
- Uji autentikasi sidik jari: pengguna memindai sidik jari yang telah disimpan sensor.
- Uji kombinasi tiga faktor: PIN + RFID + sidik jari digunakan secara berurutan.
- Setiap pengujian diulang sebanyak 50 kali untuk memperoleh nilai rata-rata waktu respon (detik) dan tingkat keberhasilan autentikasi (%).



Gambar 4 Diagram flowchart

Dibawah ini merupakan penjelasan bagaimana flowchart ini berkerja:

1. Mulai. Sistem dimulai ketika perangkat diaktifkan.
2. Inisialisasi. Pada tahap ini, sistem melakukan proses inisialisasi perangkat keras maupun perangkat lunak. Inisialisasi mencakup pengaktifan pin input-output pada Arduino Mega, komunikasi serial dengan modul, serta pengecekan kondisi awal sensor dan aktuator.
3. Pengecekan Metode Akses. Setelah inisialisasi, sistem melakukan proses pengambilan keputusan untuk menentukan metode autentikasi yang digunakan. Terdapat empat percabangan:
   a. A: PIN → pengguna dapat memasukkan kombinasi angka pada keypad.
   b. B: Fingerprint (Sidik Jari) → pengguna dapat melakukan autentikasi menggunakan sidik jari.
   c. C: RFID → pengguna dapat menggunakan kartu RFID.
   d. Sensor Magnetik → sensor ini digunakan untuk mendeteksi kondisi abnormal (misalnya pintu dipaksa dibuka), yang akan memicu alarm.
4. Proses Autentikasi
   a. Jika pengguna memilih metode PIN dan sesuai, maka proses berlanjut ke tahap buka kunci.
   b. Jika menggunakan sidik jari dan hasilnya valid, maka kunci juga terbuka.
   c. Jika menggunakan RFID dengan kartu yang terdaftar, kunci akan terbuka.

d. Jika terdeteksi gangguan pada sensor magnetik (misalnya pintu dibuka paksa), maka sistem tidak membuka kunci tetapi mengaktifkan alarm.

5. Buka Kunci, setelah autentikasi valid (PIN, sidik jari, atau RFID), sistem akan mengirimkan sinyal ke aktuator (solenoid lock) untuk membuka kunci loker.
6. End, tahap akhir setelah kunci dibuka atau alarm aktif. Sistem kemudian kembali menunggu input baru (loop).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja purwarupa loker otomatis berbasis Arduino Mega dengan tiga metode autentikasi: PIN, RFID, dan sidik jari. Setiap metode diuji sebanyak 50 kali percobaan, untuk memperoleh tingkat keberhasilan, kegagalan, dan waktu respon sistem.

4.1 Hasil Pengujian Keberhasilan Autentikasi

Tabel 3 Pengujian Autentikasi

Metode Autentikasi	Jumlah Uji	Keberhasilan (%)	Kegagalan (Jumlah)	Waktu Respon (detik)
PIN	50	96.0	2	1.5
RFID	50	97.5	1	1.2
Sidik Jari	50	98.0	1	1.8
Kombinasi 3 Faktor	50	98.0	1	1.8

Hasil menunjukkan bahwa metode sidik jari dan kombinasi tiga faktor memiliki tingkat keberhasilan tertinggi, yaitu 98%, dengan waktu respon rata-rata 1,8 detik. Kegagalan umumnya disebabkan oleh penempatan jari yang tidak tepat atau jarak pembacaan RFID yang terlalu jauh. Hasil ini konsisten dengan studi Das et al. [1], yang menjelaskan bahwa autentikasi berlapis pada sistem IoT meningkatkan keamanan hingga 90% dibanding metode tunggal.

Selain autentikasi, pengujian juga dilakukan pada sensor magnetik untuk mendeteksi pembukaan paksa. Sistem mampu mengenali perubahan status dalam waktu <0,5 detik, dan secara otomatis mengaktifkan buzzer sebagai alarm peringatan. Hal ini menunjukkan sistem memiliki perlindungan ganda terhadap ancaman fisik maupun digital, sejalan dengan pendekatan yang diusulkan oleh Gupta et al. [4].

Secara keseluruhan, sistem menunjukkan kinerja stabil dengan tingkat keberhasilan di atas 95% dan waktu respon cepat di bawah dua detik. Penyimpanan data autentikasi pada EEPROM juga memastikan data tetap tersimpan meskipun terjadi pemutusan daya, sebagaimana dijelaskan oleh Khan et al. [2]. Dengan demikian, sistem ini dinilai mampu memberikan keamanan dan reliabilitas lebih tinggi dibandingkan loker konvensional.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, maka diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Sistem loker otomatis berbasis Arduino Mega berhasil dikembangkan dengan menggunakan metode autentikasi multimodal, yaitu PIN, RFID, dan biometrik (sidik jari), yang secara signifikan meningkatkan tingkat keamanan akses pengguna dibandingkan sistem konvensional.

2. Arduino Mega terbukti mampu mengakomodasi kebutuhan pemrosesan *input/output* dari berbagai sensor dan aktuator secara simultan, berkat kapasitas pin I/O dan memori yang besar, sehingga menjadi pilihan yang tepat sebagai unit kendali utama.
3. Implementasi sensor magnetik (*reed switch*) berfungsi secara efektif sebagai pendeteksi pembukaan paksa, yang kemudian memicu sistem alarm (*buzzer*) untuk memberikan peringatan terhadap potensi pelanggaran keamanan.
4. Proses penyimpanan data autentikasi ke dalam memori EEPROM memungkinkan sistem untuk mempertahankan integritas data meskipun terjadi pemutusan daya, sehingga meningkatkan keandalan sistem dalam jangka panjang.
5. Sistem ini dapat menjadi solusi awal yang aplikatif dalam pengembangan sistem keamanan penyimpanan berbasis mikrokontroler dan dapat dikembangkan lebih lanjut menuju integrasi *Internet of Things* (IoT) untuk akses jarak jauh dan pemantauan real-time.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil desain, pelaksanaan, dan pengujian sistem loker otomatis berbasis Arduino Mega, penulis mengemukakan beberapa rekomendasi untuk pengembangan selanjutnya supaya sistem ini dapat menjadi solusi yang lebih efektif dan aplikatif di dunia nyata, yaitu sebagai berikut:

1. Integrasi dengan Teknologi IoT (Internet of Things) Sistem bisa ditingkatkan lebih lanjut dengan menambahkan modul WiFi atau GSM sehingga dapat dikontrol dan dipantau dari jauh melalui aplikasi mobile atau web. Kondisi ini memungkinkan pemilik mendapatkan pemberitahuan langsung ketika terjadi pembukaan paksa atau akses yang tidak diizinkan.
2. Pengembangan Antarmuka Pengguna (User Interface) Penggunaan layar LCD yang lebih besar atau antarmuka sentuh dapat memudahkan pengguna dalam memilih metode autentikasi dan memahami status sistem dengan lebih intuitif.
3. Pengurangan Log Aktivitas (Activity Log) Sistem dapat dilengkapi dengan fitur pencatatan aktivitas (log) yang merekam waktu serta jenis autentikasi yang dipakai, untuk memperkuat aspek forensik dan audit keamanan.
4. Peningkatan Kapasitas Penyimpanan Informasi Untuk penggunaan dalam skala yang lebih besar, sistem dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan memori eksternal seperti microSD atau EEPROM tambahan untuk menyimpan lebih banyak data pengguna dan riwayat akses. Dengan perkembangan dalam aspek-aspek tersebut, diharapkan sistem loker otomatis ini dapat menjadi lebih efektif, aman, dan sesuai untuk diterapkan dalam skenario dunia nyata yang lebih rumit dan dinamis.
5. Penggunaan Loker Otomatis bukan untuk pemakaian luar Penggunaan Sistem Loker Otomatis Dianjurkan Hanya untuk Area Dalam Ruangan.

Dengan mempertimbangkan komponen yang dipakai, seperti sensor sidik jari, modul RFID, dan rangkaian elektrik lainnya yang tidak dibuat untuk tahan terhadap kondisi cuaca ekstrem seperti hujan, panas berlebihan, atau kelembapan tinggi, maka sistem loker otomatis ini sebaiknya digunakan hanya di dalam ruangan *(indoor)*. Untuk pengembangan selanjutnya, dapat dipikirkan pemanfaatan casing tahan air (*waterproof enclosure*) dan komponen industri agar sistem dapat berfungsi dengan baik di lingkungan luar ruangan *(outdoor)*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing, Program Studi Teknik Komputer Universitas Komputer Indonesia, orang tua, keluarga, serta rekan-rekan yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan bantuan selama proses penelitian hingga penulisan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. S. Cvetković, V. Radojčić, and S. Adamović, "Multi-factor Authentication for the Internet of Things," *Zb. Rad. Univ. Sinergija*, vol. 22, no. 7, 2021, doi: 10.7251/zrsng2101013c.

[2] L. Nagarajan and A. Arthi, "IOT Based Low Cost Smart Locker Security System," *Int. J. Adv. Res.*, vol. 3, no. 6, pp. 510–515, 2017.

[3] P. Parab, M. Kulkarni, and V. Shinde, "Smart Locker Management System Using IoT," *12th INDIACom; 5th Int. Conf. "Computing Sustain. Glob. Dev. INDIACom 2018*, pp. 1894–1899, 2018.

[4] C. Bharatiraja, P. K. Chittoor, and Y. V. Bhargava, "An IoT based centralized smart locker using RFID technology," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2427, no. February, 2023, doi: 10.1063/5.0101139.

[5] F. Sudarto, J. A. Zuntama, and I. Budiono, "Rancang Bangun Sistem Smart Locker Menggunakan Voice Access Berbasis Arduino Mega," *J. CERITA*, vol. 7, no. 2, pp. 144–151, 2021, doi: 10.33050/cerita.v7i2.1766.

[6] D. Nusyirwan, R. T. Putra, M. Raja, A. Haji, and Senggarang, "Proses Desain Rekayasa Pada Perancangan Purwarupa Loper Id (Locker Penyimpanan Berbasis Rfid) Dalam Menunjang Sistem Keamanan Perpustakaan Engineering Design Process in Loper Id Purwarupa Design (Rfid-Based Storage Locker) in Supporting Library Security S," *J. Teknol. dan Terap. Bisnis*, vol. 3, no. 1, pp. 1–12, 2020, [Online]. Available: https://www.jurnal.polteksi.ac.id/index.php/jttb/article/view/118/68

[7] M. Akbar, R. Candra, Y. Karyanti, Y. Chalri, and H. Rasjid, "Sistem Keamanan Lemari Penyimpanan Barang Menggunakan Password Sebagai Kendali Akses Dan Sensor Ultrasonik Sebagai Pendeteksi Barang," *J. Ilm. Inform. Komput.*, vol. 29, no. 1, pp. 13–24, 2024, doi: 10.35760/ik.2024.v29i1.9861.

[8] J. Adler and Sutono, *BUKU ELEKTRONIKA DASAR*. Bandung: Informatika, 2020.

[9] ARDUINO, "Arduino Mega 2560 Rev3," Consultado 02 de Enero del 2018. Accessed: Apr. 24, 2025. [Online]. Available: https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3