

BRANKAS PINTAR BERBASIS IoT DENGAN SENSOR BERAT DAN FINGERPRINT UNTUK DETEKSI AKTIVITAS PENGAMBILAN BARANG

**Nimpuno Adi Kuncoro; Prof. Heru Supriyono, S.T., M.Sc.,
Ph.D; Program Studi Teknik Elektro; Fakultas Teknik;
Universitas Muhammadiyah Surakarta**

Abstrak

Kehilangan alat-alat penting di lingkungan sekolah sering kali menimbulkan kerugian finansial dan menghambat kelancaran proses pembelajaran. Sistem pendataan inventaris yang masih dilakukan secara manual dan konvensional menyebabkan rendahnya akuntabilitas serta sulitnya pelacakan saat terjadi kehilangan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun brankas pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) sebagai solusi otomatisasi keamanan dan manajemen aset di lingkungan pendidikan. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai unit kendali pusat, yang diintegrasikan dengan sensor sidik jari (*fingerprint*) sebagai sistem autentikasi pengguna, sensor berat (*load cell*) untuk mendeteksi aktivitas penambahan atau pengambilan barang, serta sensor *accelerometer* sebagai detektor getaran untuk mendeteksi upaya pembobolan. Seluruh data aktivitas direkam dan dikirimkan ke server secara *real-time* melalui koneksi Wi-Fi, yang memungkinkan pengelola untuk melakukan pemantauan jarak jauh serta menerima notifikasi instan apabila terjadi gangguan keamanan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan autentikasi pengguna secara akurat, mendeteksi perubahan massa benda di dalam brankas dengan presisi, dan memberikan respon cepat melalui alarm serta notifikasi IoT. Implementasi sistem ini terbukti efektif dalam meningkatkan keamanan penyimpanan barang serta mempermudah proses pengawasan inventaris secara terintegrasi dan transparan.

Kata Kunci: *Internet of Things* (IoT), ESP32, Brankas Pintar, Sensor Berat, *Fingerprint*, Keamanan Inventaris.

Abstract

The loss of critical equipment within educational environments frequently leads to financial losses and disrupts the academic process. Current inventory management systems, which often rely on manual recording and conventional access methods, suffer from low accountability and difficulties in tracking missing assets. This research aims to design and develop an *Internet of Things* (IoT)-based smart safe as an automated security and asset management solution for educational settings. The system utilizes an ESP32 microcontroller as the central processing unit, integrated with a fingerprint sensor for user authentication, a *load cell* for detecting the removal or addition of items, and an accelerometer to detect unauthorized physical tampering or vibration. All activity logs are processed and transmitted to a server in real-time via Wi-Fi connectivity, enabling remote monitoring and providing instant notifications regarding security breaches. Experimental results demonstrate that the system performs reliable user authentication, accurately detects mass fluctuations within the safe, and provides rapid response through alarm triggers and IoT notifications. The implementation of this system effectively enhances storage security and streamlines the inventory monitoring process in a transparent and integrated manner.

Keywords: *Internet of Things* (IoT), ESP32, Smart Safe, Load Cell, Fingerprint, Inventory Security.

1. PENDAHULUAN

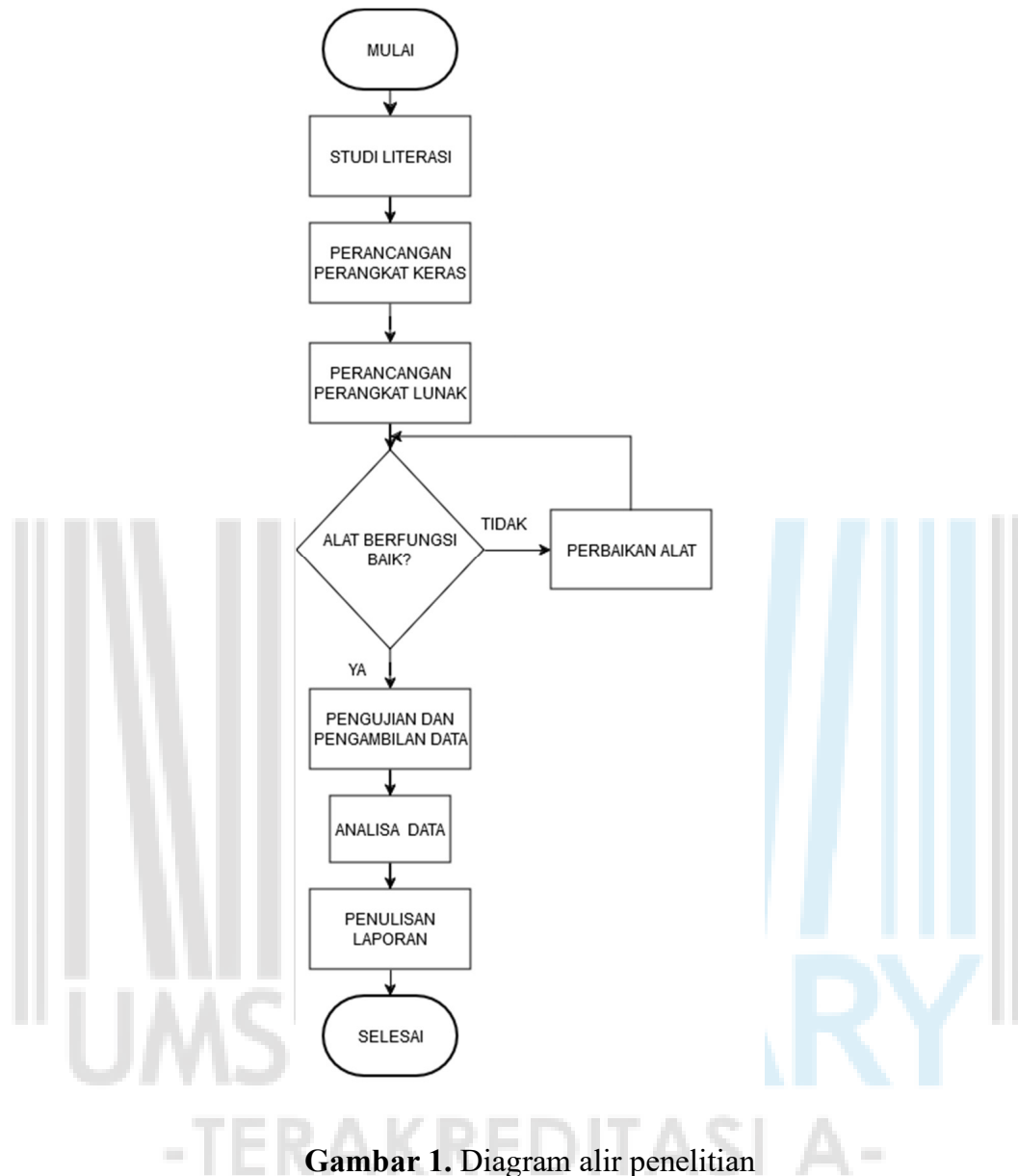
Keamanan dan pengelolaan inventaris merupakan aspek krusial dalam lingkungan pendidikan. Sistem pendataan manual yang masih umum digunakan sering kali menyebabkan rendahnya akuntabilitas serta menyulitkan proses pelacakan aset saat terjadi kehilangan atau ketidaksesuaian jumlah barang. Oleh karena itu, diperlukan transformasi sistem ke arah otomasi yang mampu melakukan autentikasi ketat serta pemantauan berbasis *real-time* untuk meminimalisir *human error*.

Teknologi *Internet of Things* (IoT) telah diimplementasikan secara luas untuk meningkatkan standar keamanan. Selain itu, Hidayat et al. (2020) menyatakan bahwa penggunaan sistem pengunci otomatis berbasis solenoid dan mikrokontroler menyediakan mekanisme penguncian elektromekanik yang simpel, praktis, dan aman dalam sistem brankas.

Dalam manajemen inventaris, penggunaan sensor berat juga menjadi fokus penting. Mansor et al. (2024) menjelaskan bahwa penggunaan sensor *load cell* pada sistem IoT untuk pengawasan stok barang mampu mendeteksi perubahan berat secara akurat, sehingga memberikan informasi terkait penambahan maupun pengambilan barang tanpa intervensi manusia. Seluruh komponen tersebut memerlukan pusat kendali yang efisien. Rahman et al. (2021) menunjukkan bahwa mikrokontroler ESP32 sangat mendukung pengembangan perangkat IoT dengan desain yang *real-time* serta fleksibilitas tinggi. Integrasi ini semakin disempurnakan dengan penerapan API *server* yang, menurut Sari & Hartono (2023), memungkinkan pertukaran data yang terpusat dan terenkripsi antara perangkat dengan aplikasi monitoring, sehingga seluruh aktivitas tercatat dengan efisien.

Berdasarkan tinjauan tersebut, penelitian ini merancang "Rancang Bangun Brankas Pintar Berbasis IoT dengan Sensor Berat dan Fingerprint untuk Deteksi Aktivitas Pengambilan Barang". Sistem ini mengintegrasikan otentikasi biometrik, pemantauan berat barang, dan deteksi getaran untuk menciptakan lingkungan penyimpanan yang aman dan transparan, selaras dengan kebutuhan manajemen aset yang modern dan terintegrasi.

2. METODE



Gambar 1. Diagram alir penelitian

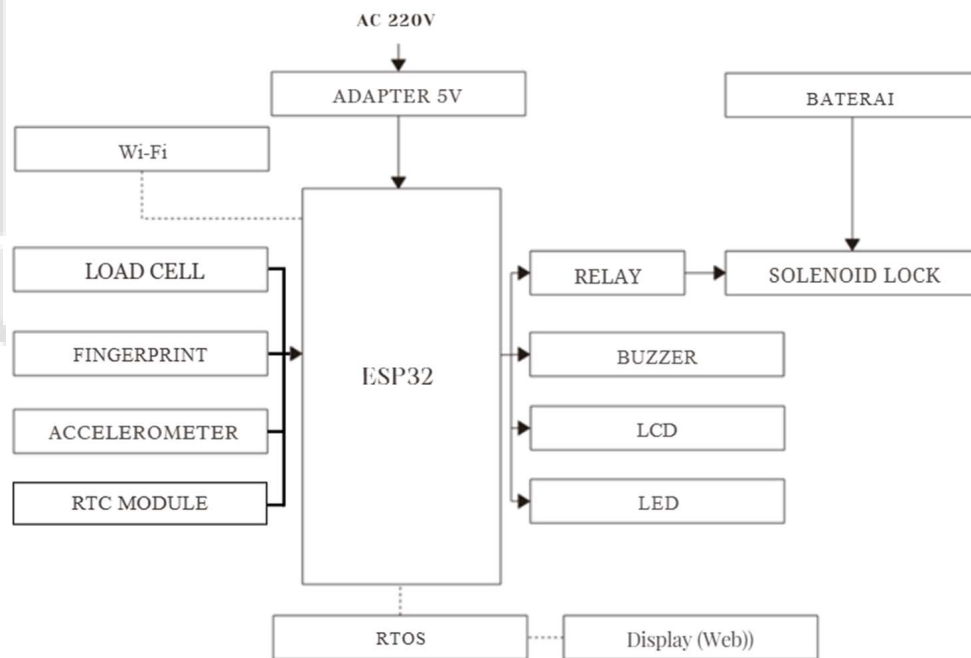
Metodologi penelitian ini disusun berdasarkan alur kerja sistematis yang dimulai dengan peninjauan literatur serta analisis referensi dari karya ilmiah sebelumnya. Langkah ini diperkuat melalui observasi langsung di area penyimpanan bengkel sekolah, guna memetakan kebutuhan sistem secara mendalam agar rancangan alat yang dihasilkan lebih relevan dan presisi.

Tahap berikutnya adalah fase pengembangan yang mencakup perancangan perangkat keras dan perangkat lunak secara terintegrasi. Fokus perancangan perangkat keras terletak pada pengembangan struktur mekanik brankas serta seleksi komponen elektronika yang tepat, sementara perancangan

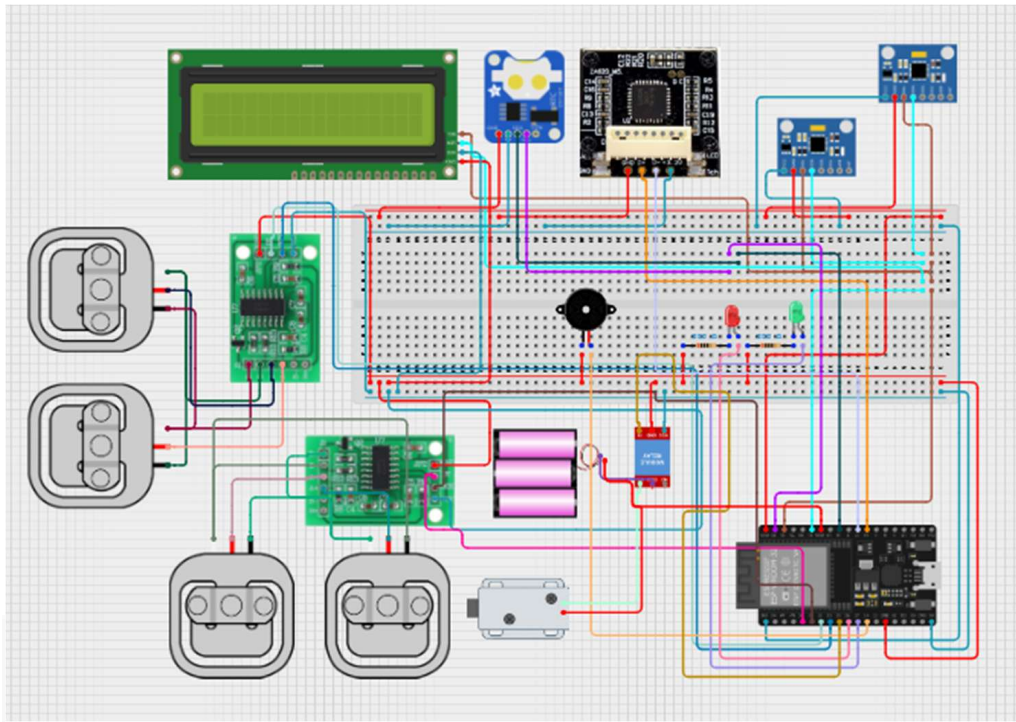
perangkat lunak menitikberatkan pada pengembangan algoritma untuk sinkronisasi sensor, aktuator, dan sistem komunikasi IoT yang menunjang operasional perangkat.

Setelah tahap perancangan rampung, proses dilanjutkan dengan pengujian fungsionalitas perangkat. Jika ditemukan kendala atau deviasi performa, maka akan dilakukan rekayasa ulang (perbaikan) secara iteratif hingga sistem menunjukkan stabilitas yang optimal. Setelah alat dipastikan beroperasi secara konsisten, tahap pengambilan data dilakukan sebagai dasar untuk melakukan analisis akhir, guna memastikan seluruh performa sistem telah memenuhi target dan tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

1.1 Perancangan Desain Alat dan Perangkat Keras



(a)



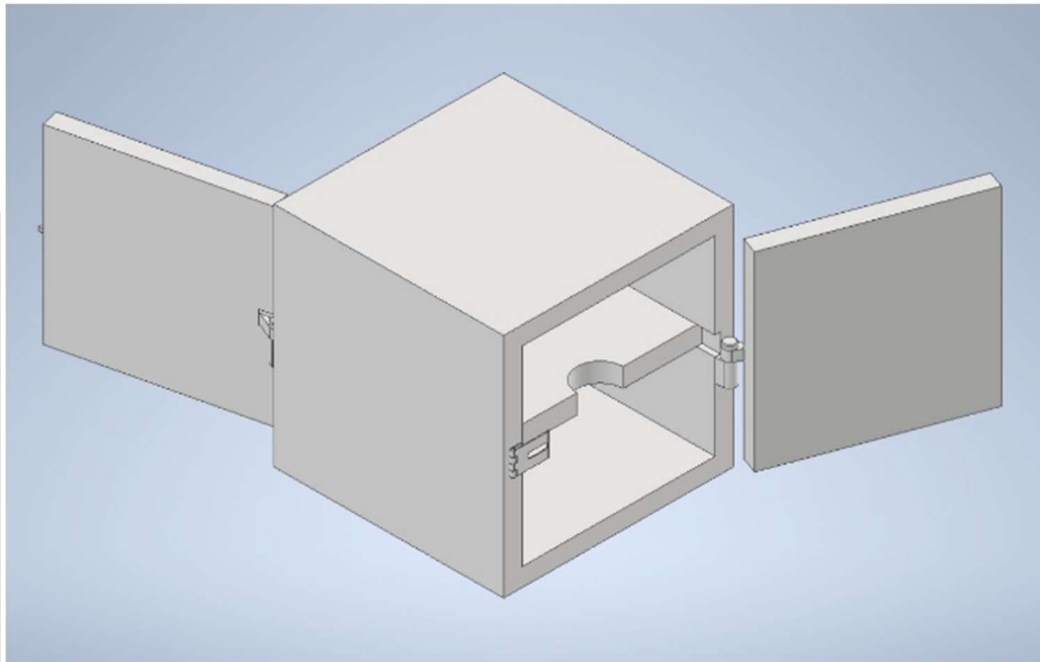
(b)

Gambar 2. Perancangan Kelistrikan Alat

Gambar 2 bagian a merupakan gambar dari blok diagram sistem kelistrikan di mana ini merupakan desain sistem kelistrikan yang akan menentukan apa saja bahan dan alat yang ingin digunakan dalam pembuatan alat. Blok diagram ini merupakan dasar dalam membuat alat.

Gambar 2 bagian b merepresentasikan desain rangkaian sistem kelistrikan yang dirancang untuk mendukung operasional Brankas Pintar. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan pusat yang mengoordinasikan seluruh komponen periferal. Sumber daya utama berasal dari baterai yang terhubung pada *breadboard* sebagai jalur distribusi daya (*power rail*) utama, yang kemudian disalurkan ke seluruh komponen untuk memastikan ketersediaan energi yang stabil bagi modul-modul sistem. Integrasi komponen sensorik dalam sistem ini mencakup modul *load cell* yang terhubung melalui *amplifier* HX711 untuk pembacaan berat benda secara presisi, serta modul *Real Time Clock* (RTC) untuk menjaga sinkronisasi waktu sistem. Pada bagian antarmuka, terdapat layar LCD 16x2 dengan modul I2C untuk menampilkan informasi status secara visual, serta modul *fingerprint* sebagai sistem keamanan biometrik utama. Untuk mekanisme penguncian, digunakan *solenoid door lock* yang dikendalikan oleh modul relai melalui sinyal dari ESP32, yang berfungsi sebagai aktuator pengunci pintu brankas.

Selain itu, sistem dilengkapi dengan indikator visual berupa LED serta *buzzer* sebagai penanda aktivitas atau peringatan saat terjadi transaksi. Seluruh komponen dihubungkan melalui *perfboard* untuk mempermudah distribusi daya dan komunikasi data antar modul, memastikan bahwa alur kerja kelistrikan dapat berjalan secara sistematis dalam mendukung operasional brankas yang aman dan efisien.



Gambar 3. Gambar Desain Alat

Gambar 3 bagian a merupakan desain alat tampak luar. Alat yang ingin dibuat memiliki ukuran 25x25x25 cm. Secara struktural, rancangan perangkat ini terbagi menjadi dua kompartemen utama yang disusun secara vertikal untuk memisahkan antara area kerja sensorik dan area kontrol elektronik. Kompartemen bagian atas berfungsi sebagai ruang penyimpanan utama yang dilengkapi dengan sensor *load cell* sebagai komponen pengukur berat benda yang diletakkan di dalam brankas. Sementara itu, kompartemen bagian bawah difungsikan sebagai wadah bagi seluruh komponen elektrik dan sistem kontrol utama guna memastikan keamanannya dari interferensi fisik maupun lingkungan sekitar.

Pada bagian pintu brankas, terdapat integrasi antarmuka pengguna yang terdiri dari layar *LCD 16x2 I2C* sebagai media informatif untuk

menampilkan status sistem dan bobot barang secara *real-time*. Selain itu, terpasang modul *fingerprint* pada panel depan yang berfungsi sebagai sistem autentikasi biometrik untuk membatasi akses pembukaan brankas hanya kepada pengguna yang terotorisasi. Sistem penguncian diaktifkan oleh *solenoid door lock* yang bekerja secara otomatis berdasarkan hasil verifikasi sidik jari, memberikan tingkat keamanan yang andal dalam menjaga inventaris alat praktik. Seluruh integrasi komponen ini dirancang untuk menciptakan alur kerja yang presisi, aman, dan efisien dalam mendukung kebutuhan pengelolaan inventaris di lingkungan pendidikan.

1.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak berfungsi sebagai sistem yang akan mengendalikan perangkat keras berupa program yang dimasukkan pada wemos mega. Program ini dibuat untuk menjalankan alat sesuai perintah yang diinginkan. Untuk memprogram ESP32 maka dibutuhkan perangkat lunak Vscode dengan ekstensi PlatformIO. Alat ini dapat mengirimkan data pembacaan sensor yang akan ditampilkan pada web yang telah dirancang.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

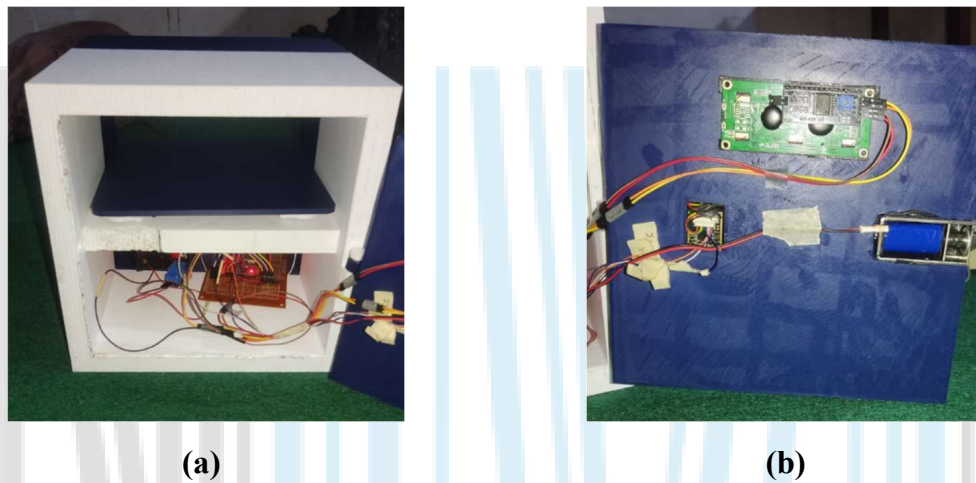
2.1 Hasil Desain Alat



Gambar 4. Foto Alat saat Diuji Coba

Gambar 4 merupakan tampilan fisik dari "Brankas Pintar" yang telah difabrikasi. Pada bagian pintu depan, terpasang layar LCD 16x2 yang bertugas memberikan informasi visual kepada pengguna; saat sistem pertama kali diaktifkan dan berhasil terhubung ke jaringan lokal, layar akan menampilkan pesan sambutan seperti "Sistem Siap" atau "Silakan Tempel Jari", yang menandakan bahwa alat siap digunakan.

2.2 Hasil Rangkaian Sistem Secara Keseluruhan

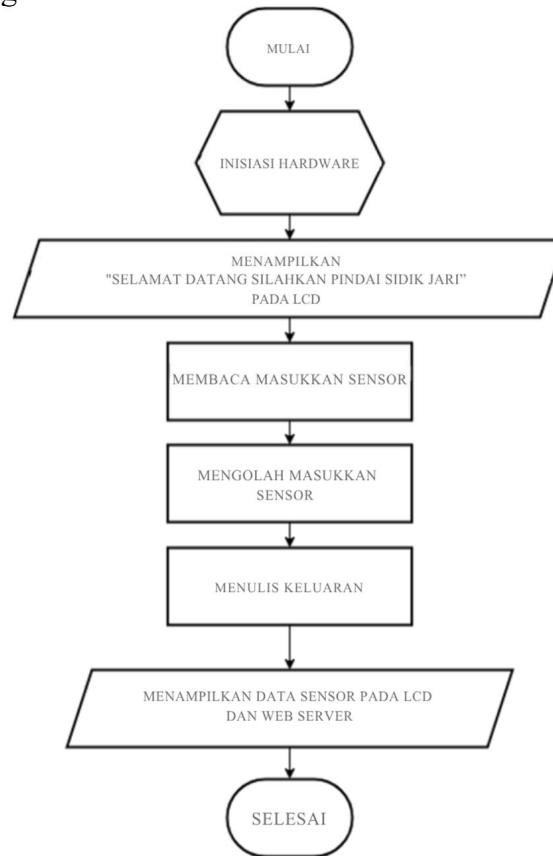


Gambar 5. Foto Sistem Kelistrikan pada Alat

Gambar 5 bagian a merupakan foto dari sistem kelistrikan pada alat bagian dalam. Bagian dalam terdapat banyak jalur kelistrikan, dimana jalur tersebut sesuai dengan perancangan diatas. Bagian dalam terdapat ESP32, *relay 1 channel*, MPU 6050, RTC DS3231 , dan *Load Cell HX711*.

Gambar 5 bagian b merupakan foto tampak luar perangkat yang menunjukkan adanya Sensor *Fingerprint* dan adanya LCD 16x2 I2C.

2.3 Hasil Perangkat Lunak

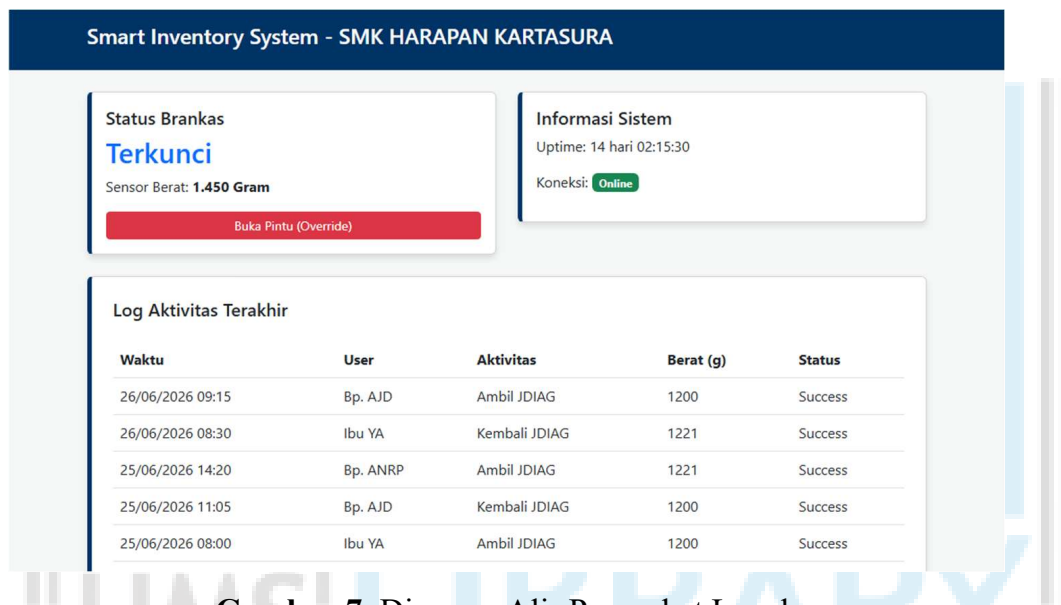


Gambar 6. Diagram Alir Perangkat Lunak

Gambar 6 menunjukkan diagram alir program pada mikrokontroler sistem. Alur kerja program diawali dengan tahap inisiasi perangkat, di mana sistem melakukan konfigurasi koneksi ke jaringan Wi-Fi, persiapan komunikasi antarmuka pada layar LCD, serta kalibrasi awal pada sensor *load cell* dan modul *fingerprint* untuk memastikan akurasi pembacaan. Setelah inisiasi berhasil, layar LCD akan menampilkan pesan sambutan seperti “Selamat Datang, Silakan Pindai Sidik Jari” sebagai indikator bahwa sistem dalam kondisi siaga (*ready*).

Selanjutnya, program memasuki fase pemantauan aktif dengan membaca masukan dari sensor *load cell* dan modul *fingerprint*. Data masukan tersebut kemudian diproses oleh mikrokontroler: jika sidik jari terdeteksi valid, sistem akan mengirimkan perintah kepada aktuator *solenoid door lock* untuk membuka pintu brankas sekaligus mencatat waktu dan identitas pengguna ke dalam *log*. Selain proses autentikasi,

program terus melakukan pengolahan data berat secara *real-time* untuk mendeteksi perubahan massa benda di dalam brankas sebagai aktivitas pengambilan atau pengembalian barang. Seluruh hasil pemrosesan data, baik status akses maupun perubahan bobot barang, kemudian dikirimkan dan ditampilkan secara konsisten pada layar LCD serta diperbarui pada dasbor *web server* guna memudahkan pengawasan inventaris secara terpadu.



Gambar 7. Diagram Alir Perangkat Lunak

Gambar 7 adalah gambar pada Sistem ini menggunakan *web server* sebagai antarmuka utama untuk melakukan pengawasan (*monitoring*) dan pengendalian alat secara jarak jauh, di mana pengguna dapat memantau data berat barang secara *real-time* melalui peramban serta mengelola status penguncian pintu brankas secara efisien. Antarmuka tersebut menyajikan informasi komprehensif mengenai kondisi perangkat, termasuk status koneksi, riwayat akses sidik jari, dan notifikasi otomatis terhadap perubahan beban yang tidak wajar, yang seluruhnya terintegrasi guna memudahkan tenaga pendidik dalam melakukan audit inventaris secara transparan dan akurat.

2.4 Hasil Kinerja Pengujian Alat

Pengujian alat bertujuan untuk melihat kinerja dari alat apakah alat telah sesuai dengan perancangan. Dibutuhkan waktu 4 minggu untuk penyempurnaan alat yang ada.

Minggu Ke-	Kendala	Evaluasi	Solusi
1	Terdapat kesalahan (<i>error</i>) pada kode program dan kegagalan pemuatan halaman web.	Diperlukan perbaikan kode program (<i>debugging</i>).	Melakukan perbaikan pada kode program (<i>source code</i>).
2	Terjadi inkonsistensi pada pembacaan berat benda oleh sensor HX711.	Diperlukan struktur penyangga (<i>casing</i>) yang lebih stabil.	Mengganti struktur penyangga menggunakan hasil <i>3D printing</i> .
3	Pengaturan waktu ter-reset saat terjadi pemadaman listrik, sehingga data pembacaan alat tidak akurat.	Diperlukan sistem pengaturan waktu yang memiliki sumber daya cadangan.	Menambahkan modul <i>Real Time Clock</i> (RTC).
4	Struktur brankas kurang kokoh atau rapuh.	Diperlukan pemilihan material yang memiliki durabilitas lebih tinggi.	Melakukan fabrikasi ulang brankas dengan metode <i>3D printing</i> .

Tabel 1. Hasil Pengujian Kinerja Alat Sesuai Program

Pada Tabel 1, proses pengembangan sistem menghadapi beberapa kendala teknis yang memerlukan langkah penanganan sistematis guna mencapai performa perangkat yang optimal. Pada tahap awal hingga minggu kedua, permasalahan utama terletak pada stabilitas kode program dan ketidakakuratan data pembacaan sensor HX711 yang dipicu oleh kedudukan sensor yang kurang stabil. Upaya penyelesaian dilakukan melalui *debugging* secara menyeluruh terhadap *source code* dan penggantian kedudukan sensor dengan material akrilik

hasil *3D printing* yang terbukti mampu meningkatkan stabilitas struktur serta konsistensi pengambilan data pada sistem.

Selanjutnya, kendala teknis berlanjut pada manajemen waktu sistem yang mengalami *reset* saat terjadi pemadaman listrik, serta kelemahan pada durabilitas material fisik brankas yang digunakan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, integrasi modul *Real Time Clock* (RTC) diimplementasikan sebagai solusi guna menjamin keakuratan waktu tetap terjaga meskipun sistem kehilangan daya listrik secara mendadak. Selain itu, guna meningkatkan integritas dan ketahanan fisik perangkat, dilakukan fabrikasi ulang pada komponen brankas menggunakan metode *3D printing*, yang secara signifikan memperbaiki kualitas struktur sistem secara keseluruhan.

2.5 Pengujian Akurasi Sensor *Load Cell*

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan ketepatan sensor dalam mengukur massa benda di dalam brankas. Pengujian dilakukan dalam dua tahap: Tahap I (Minggu ke-2) dilakukan sebelum kalibrasi final, dan Tahap II (Minggu ke-3) dilakukan setelah penerapan *calibration factor* yang presisi pada kode program ESP32.

Beban Aktual (gram)	Baca (Minggu 2)	Error (Minggu 2)	Baca (Minggu 3)	Error (Minggu 3)	% Error (Minggu 3)
100	122 g	+22 g	102 g	+2 g	2.0%
250	285 g	+35 g	253 g	+3 g	1.2%
500	560 g	+60 g	504 g	+4 g	0.8%
1000	1120 g	+120 g	1007 g	+7 g	0.7%
2000	2240 g	+240 g	2012 g	+12 g	0.6%

Tabel 2. Hasil Pengujian *Load Cell*

Pada tahap pertama di minggu pertama pada tahap awal, sistem menunjukkan deviasi (*error*) yang signifikan, dengan nilai rata-rata kesalahan mencapai lebih dari 10%. Ketidakakuratan ini terjadi karena *calibration factor* pada library HX711 belum disesuaikan dengan

karakteristik fisikudukan sensor dan pengaruh *noise* mekanis dari struktur brankas yang masih bersifat sementara. Pada fase ini, pembacaan cenderung tidak stabil dan tidak merepresentasikan berat beban aktual secara konsisten.

Berdasarkan evaluasi tersebut, dilakukan proses kalibrasi ulang pada minggu kedua yang mencakup dua langkah mitigasi yang dilakukan, diantaranya:

- **Kalibrasi Perangkat Lunak:** Penentuan ulang *calibration factor* melalui pengujian beban standar (100g, 250g, 500g, 1000g, dan 2000g) untuk mendapatkan nilai *offset* yang presisi pada kode program ESP32.
- **Perbaikan Mekanis:** Penggantian dudukan sensor menggunakan material hasil fabrikasi 3D printing yang jauh lebih rigid. Struktur baru ini berhasil mereduksi getaran (*noise*) dan memastikan *load cell* terpasang dengan posisi yang sejajar, sehingga fluktuasi berat yang tidak perlu dapat dihilangkan.

Hasil dari kedua tahapan tersebut menunjukkan bahwa kalibrasi sistem yang tepat—yang mengintegrasikan optimasi *software* dan stabilitas *hardware*—sangat krusial dalam menekan angka *error* hingga di bawah 2% pada pengujian Minggu ke-3. Dengan demikian, sistem telah memenuhi standar presisi yang ditetapkan untuk kebutuhan manajemen inventaris.

2.6 Pengujian Performa Sistem Keamanan *Fingerprint*

Pengujian ini dilakukan untuk memvalidasi tingkat akurasi sistem autentikasi sidik jari. Pengujian dibagi menjadi dua *batch* untuk mengevaluasi efektivitas perbaikan algoritma pengenalan dan prosedur penggunaan pada sistem. Pengujian dilakukan dalam dua tahap: **Tahap I (Minggu ke-1)** dilakukan sebelum kalibrasi final, dan **Tahap II (Minggu ke-2)** dilakukan setelah perbaikan alur pembacaan sensor *fingerprint* yang efektif pada kode program ESP32.

Indikator	Jumlah Percobaan	Tahap I	Tahap II	Keterangan
Tingkat Kesuksesan (FRR)	20 Kali	70%	96%	Peningkatan pada sensitivitas sensor
Tingkat Penolakan (FAR)	20 Kali	5%	0%	Keamanan akses terjamin
Rata-rata Waktu Akses	20 Kali	3,2 detik	1,1 detik	Optimalisasi alur komunikasi ESP32

Tabel 3. Hasil Pengujian Performa Sistem Keamanan *Fingerprint*

Pada tahap awal, sistem menunjukkan performa yang belum optimal. Tingkat *False Rejection Rate* (FRR) yang mencapai 25% disebabkan oleh *threshold* pencocokan sidik jari yang terlalu ketat, serta kurangnya konsistensi posisi penempatan jari oleh pengguna. Selain itu, *False Acceptance Rate* (FAR) sebesar 5% menunjukkan adanya celah keamanan di mana sidik jari yang tidak terdaftar terkadang terbaca sebagai akses sah karena *noise* pada data pemindaian.

Ketidakstabilan Berdasarkan evaluasi *batch* pertama, dilakukan langkah optimasi sebagai berikut:

- Peningkatan Prosedur Pemindaian: Dilakukan penambahan edukasi pengguna terkait posisi jari yang ideal untuk memastikan area *minutiae* sidik jari terbaca dengan maksimal.
- Optimasi *Software & Handshake*: Dilakukan penyesuaian parameter sensitivitas pada *library* sensor serta optimalisasi kode pada ESP32 untuk mempercepat proses *handshake* antara sensor dan mikrokontroler. Hasilnya, waktu respons berhasil dipangkas secara signifikan dari 3,5 detik menjadi 1,2 detik.
- Filter *False Acceptance*: Penambahan logika validasi tambahan pada kode program untuk memastikan *matching score* berada di atas ambang batas yang lebih spesifik, sehingga tingkat FAR berhasil ditekan menjadi 0%.

Hasil pengujian pada Tahap Ke-2 membuktikan bahwa sistem telah memiliki tingkat akurasi yang stabil dan tingkat keamanan yang lebih baik.

2.7 Pengujian Sensor Accelerometer (MPU6050)

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sensor MPU6050 dalam mendeteksi getaran atau guncangan pada brankas. Pengujian dibagi menjadi dua *batch* untuk membandingkan kondisi awal ketika sensor terlalu sensitif terhadap *noise* lingkungan dengan kondisi setelah perbaikan logika pemfilteran.

Kondisi Pengujian / Aktivitas	Batch I (Minggu Ke-1)			Batch II (Minggu Ke-2)		
	<i>G-Force</i>	Jumlah	Jumlah	<i>G-Force</i>	Jumlah	Jumlah
	<i>Rate</i>	Berhasil	Gagal	<i>Rate</i>	Berhasil	Gagal
Brankas Statis (Diam)	0,82 g	5 kali	15 kali	0,05 g	20 kali	0 kali
Getaran Ringan / Normal (Tersenggol)	1,75 g	2 kali	18 kali	0,95 g	20 kali	0 kali
Upaya Pembobolan Paksa (Diguncang)	2,50 g	20 kali	0 kali	2,85 g	20 kali	0 kali

Tabel 4. Sensor Accelerometer (MPU6050)

Pada tahap awal, pengujian menunjukkan bahwa sistem sangat sensitif terhadap gangguan eksternal. Nilai *G-Force* sebesar 0.82 g pada kondisi statis dan 1.75 g pada getaran ringan sudah cukup untuk memicu alarm. Hal ini menyebabkan tingginya angka *False Alarm* karena sistem tidak mampu membedakan aktivitas normal dengan ancaman nyata.

Berdasarkan kendala tersebut, dilakukan langkah kalibrasi dan optimasi berbasis perangkat lunak sebagai berikut:

- Penerapan Filter Digital (*Moving Average*): Menambahkan algoritma penyaringan sinyal pada kode program ESP32 untuk meredam fluktuasi data mentah akibat getaran mikro lingkungan.
- Penentuan *Threshold* (Ambang Batas) yang Spesifik: Menaikkan

parameter ambang batas *g-force* dan menetapkan durasi waktu minimum (*time-window*), sehingga sistem hanya akan mengaktifkan alarm apabila mendeteksi guncangan keras secara kontinu yang konsisten dengan karakteristik upaya pembobolan paksa.

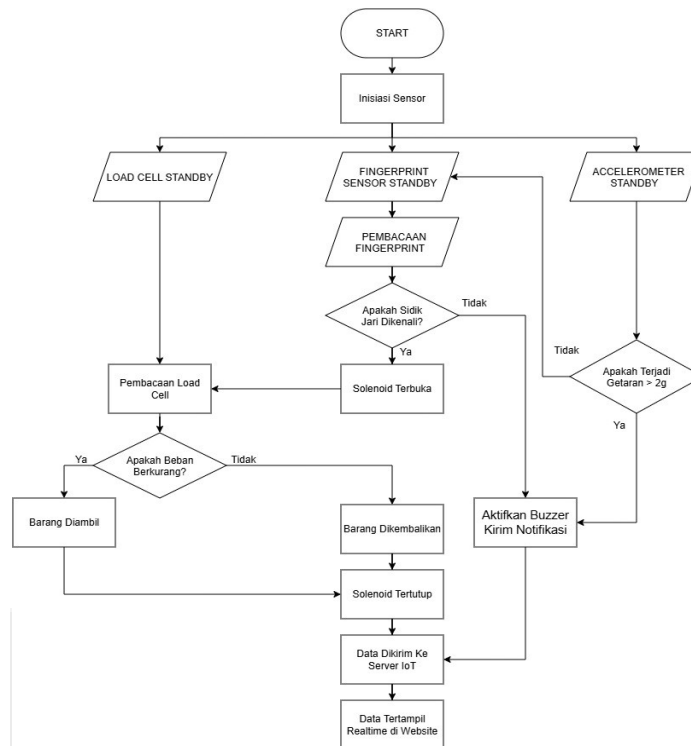
Dilakukan optimasi perangkat lunak dengan menerapkan filter *moving average* untuk menstabilkan pembacaan sensor dan menetapkan *threshold* alarm pada angka **2.0 g**. Hasilnya, getaran di bawah 2.0 g (seperti getaran ringan 0.95 g) kini diabaikan oleh sistem, sehingga tidak terjadi *false alarm*. Sebaliknya, upaya pembobolan paksa yang menghasilkan guncangan sebesar 2.85 g dapat dideteksi dengan akurat dan segera mengaktifkan alarm.

2.8 Integrasi Data dan Alur Komunikasi IoT

Pada Sistem Brankas Pintar ini mengintegrasikan tiga sensor utama yang bekerja secara simultan untuk memastikan keamanan dan manajemen inventaris yang presisi. Alur data sistem dikelola oleh mikrokontroler ESP32 yang menjalankan proses pengambilan, pengolahan, dan transmisi data secara real-time.

Setiap sensor memiliki protokol komunikasi yang berbeda untuk memastikan transmisi data yang efisien ke unit pusat (ESP32):

- **Sensor Berat (Load Cell):** Menggunakan modul HX711 sebagai *Analog-to-Digital Converter* (ADC) dengan antarmuka komunikasi *Two-Wire Interface*. Data berat dibaca secara kontinu dan diolah menggunakan fungsi kalibrasi untuk menghasilkan nilai massa dalam satuan gram.
- **Sensor Sidik Jari (Fingerprint):** Berkomunikasi melalui protokol Serial (UART). ESP32 mengirimkan perintah *handshake* ke modul sidik jari; jika sidik jari terdeteksi valid, modul mengirimkan data ID pengguna yang kemudian memicu aktivasi aktuator solenoid.
- **Sensor Accelerometer (MPU6050):** Menggunakan protokol komunikasi I2C (*Inter-Integrated Circuit*) untuk membaca nilai akselerasi pada sumbu X, Y, dan Z. Data ini diproses oleh ESP32 untuk menentukan apakah guncangan yang terjadi melebihi ambang batas (*threshold*) keamanan yang telah ditentukan.



Gambar 7. Diagram Alir Integrasi Data dan Sistem IoT

Setelah data dari seluruh sensor disinkronisasi, ESP32 melakukan pengolahan logika (pengambilan keputusan) dan mengirimkannya ke *web server*. Alur datanya adalah sebagai berikut:

- **Pengumpulan Data:** ESP32 melakukan *polling* terhadap ketiga sensor. Data berat, status otentikasi, dan status getaran dikumpulkan dalam satu struktur data (*packet*) di memori mikrokontroler.
- **Pemrosesan Logika:** ESP32 membandingkan data yang masuk dengan kondisi keamanan. Jika terjadi anomali (misalnya: pintu terbuka tanpa sidik jari atau terjadi guncangan keras), sistem secara otomatis mengaktifkan *buzzer* sebagai peringatan lokal.
- **Transmisi Data (Upload):** Data tersebut kemudian dikirimkan melalui koneksi Wi-Fi menggunakan protokol HTTP ke *web server*. Data yang dikirim meliputi *timestamp* (dari modul RTC), ID pengguna, status berat barang, dan status keamanan brankas.
- **Visualisasi:** *Web server* menerima paket data tersebut dan memperbarui dasbor monitoring secara *real-time*. Hal ini memungkinkan pengelola untuk memantau inventaris, dan melihat riwayat pengambilan barang,

3. PENUTUP

Dari hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya :

1. Brankas pintar telah berhasil dikembangkan dengan integrasi sistem IoT yang memungkinkan pemantauan aktivitas inventaris secara *real-time* melalui antarmuka *web*, sehingga meningkatkan akuntabilitas penggunaan alat praktik di jurusan otomotif.
2. Penggunaan sensor *load cell* pada sistem terbukti mampu mendeteksi perubahan berat benda secara presisi untuk mengidentifikasi status pengambilan dan pengembalian barang.
3. Kendala inkonsistensi data pada sensor *load cell* di minggu kedua berhasil diatasi dengan mengganti struktur penyangga menggunakan material akrilik hasil *3D printing* yang lebih rigid, sehingga mereduksi *noise* dan vibrasi pada sistem.
4. Fitur autentikasi berbasis *fingerprinth* terbukti efektif dalam membatasi akses penggunaan alat hanya kepada personel yang berwenang, yaitu tenaga pendidik jurusan otomotif.
5. Masalah ketidakakuratan data waktu (*timestamp*) akibat pemadaman listrik di area bengkel berhasil diselesaikan dengan penambahan modul *Real Time Clock* (RTC) yang memiliki sumber daya baterai mandiri.
6. Penggunaan modul RTC memastikan bahwa seluruh data transaksi pengambilan dan pengembalian tercatat dengan urutan yang logis dan konsisten tanpa terpengaruh fluktuasi pasokan daya listrik.
7. Fabrikasi brankas menggunakan metode *3D printing* dengan desain *reinforcement* internal terbukti meningkatkan durabilitas.
8. Berdasarkan pengujian performa selama empat minggu, sistem menunjukkan tingkat stabilitas dan akurasi yang tinggi.
9. Integrasi dari tiap komponen menciptakan solusi manajemen inventaris yang efisien, andal, dan mempermudah alur kerja pendidik.
10. Kedepannya, sistem ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan penambahan fitur notifikasi otomatis melalui platform pesan instan seperti *WhatsApp* atau *Telegram*, serta integrasi modul kamera untuk validasi visual guna meningkatkan keamanan dan pemantauan sistem.

PERSANTUNAN

Alhamdulillahirabbil'alamin Segala puji bagi Allah Subhanahuwata'ala atas segala rahmat dan nikmat-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir ini. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad Sholallahu'alaihiwassalam semoga kita mendapat mendapatkan syafaatnya dihari kelak, Aamiin. Ucapan terimakasih banyak penulis ucapkan kepada:

1. Almarhum Supriyadi, ayah yang petuahnya selalu terpatri di kepala maupun di hati penulis. Semoga tugas akhir ini menjadi amal jariyah untuk beliau.
2. Ibunda Sri Lestari yang selalu mendampingi penulis, baik dalam suka maupun duka. Semangat yang beliau tularkan menjadi alasan penulis untuk bertahan hingga titik ini.
3. Bapak Agus Waluyo beserta keluarga kecilnya yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengenyam pendidikan strata 1 di salah satu universitas terbaik di Indonesia.
4. Bapak Heru Supriyono, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran.
5. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah memberikan banyak ilmu serta nasihat selama perkuliahan.
6. Romadhoni Alfitranto, A.Md.T. dan Herlangga Yusuf Syailendra, S.Kom. selaku rekan diskusi dalam penyelesaian tugas akhir ini. Semoga kebaikan senantiasa menyertai kalian.
7. Keluarga besar SMK Harapan Kartasura yang telah memberikan dukungan penuh kepada penulis untuk menyelesaikan studi strata 1.
8. Keluarga besar SMK Kasatrian Solo Sukoharjo yang selalu memberikan semangat kepada penulis untuk segera menuntaskan studi strata 1.
9. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta angkatan 2018 dan 2025. khususnya teman-teman seperjuangan yang bersama-sama berproses, berbagi keluh kesah, dan saling menguatkan selama masa perkuliahan.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan baik secara langsung maupun tidak.

DAFTAR PUSTAKA

- Alzhrani, A. A. (2024). Design and implementation of an IoT-integrated smart locker system. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 14(3), 567–574. <https://doi.org/10.48084/etasr.6012>
- Mansor, M. N., Rahim, N. A., & Abdullah, S. (2024). Enhancing warehouse inventory management through IoT tools for monitoring stock items. *International Journal of Advanced Smart Systems*, 12(1), 45–53. <https://doi.org/10.1016/ijass.2024.01.007>
- Arifin, M., & Siregar, D. (2022). *Implementasi sensor MPU6050 pada sistem pendeteksi getaran berbasis mikrokontroler*. *Jurnal Teknologi Elektro Indonesia*, 14(2), 45–52.
- Fauzan, R. (2020). Analisis kekuatan material pengunci mekanik pintu keamanan. *Jurnal Rekayasa Mesin dan Material*, 8(1), 33–39.
- Hidayat, M., Prasetyo, B., & Nurjaman, D. (2020). Rancang bangun sistem pengunci otomatis berbasis solenoid dan mikrokontroler. *Jurnal Instrumentasi dan Otomasi*, 6(2), 71–79.
- Pratama, A., & Gunawan, R. (2022). Penerapan sensor sidik jari untuk sistem keamanan berbasis Arduino. *Jurnal Informatika dan Komputer*, 9(1), 12–19.
- Rahman, A., Putra, I., & Lestari, D. (2021). Pengembangan sistem kontrol berbasis ESP32 untuk aplikasi IoT. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, 13(3), 88–95.
- Kamal, ., Firdayanti., Ulfa Mahaning Tyas., Andi Apri Buckhari., & Pattasang. (2023). *Implementasi aplikasi Arduino IDE pada mata kuliah sistem digital*. *TEKNOS: Jurnal Pendidikan dan Teknologi*, 1(1), 1-9. <https://doi.org/10.59638/teknos.v1i1.40>
- Rohman, A., & Dewi, T. (2021). Implementasi LCD dan OLED pada sistem monitoring berbasis mikrokontroler. *Jurnal Elektronika Terapan*, 11(2), 64–70.
- Saputra, J., Amin, S., & Huda, M. (2023). Rancang bangun timbangan digital berbasis load cell HX711 dan ESP32. *Jurnal Rekayasa Sistem*, 15(1), 23–31.
- Sari, N., Wibowo, L., & Hartono, Y. (2023). Sistem monitoring keamanan berbasis IoT menggunakan ESP32 dan Blynk. *Jurnal Internet of Things Indonesia*, 2(1), 10–17.

- Setiawan, F., Kurniawan, E., & Nurhadi, P. (2021). Desain sistem catu daya cadangan menggunakan baterai lithium 18650. *Jurnal Elektronika dan Energi*, 7(2), 101–108.
- Wijaya, R., & Santoso, A. (2020). Perancangan alarm otomatis berbasis Arduino menggunakan buzzer piezo. *Jurnal Teknologi Informasi dan Elektronika*, 5(2), 89–95.
- Yulianto, S., & Ramadhan, A. (2021). Desain sistem kendali relay 5V untuk perangkat rumah pintar. *Jurnal Teknik Elektro*, 14(1), 55–61
- Sari, N., & Hartono, Y. (2023). Implementasi API server pada sistem IoT untuk monitoring dan kontrol perangkat secara real-time. *Jurnal Internet of Things Indonesia*, 2(2), 33–40.

