IMPLEMENTASI KOMUNIKASI BLUETOOTH LOW ENERGY (BLE) PADA SISTEM PENGUNCIAN KOTAK AMAL DENGAN AUTENTIKASI BIOMETRIK ANDROID DAN PEMBATASAN JARAK AKSES

DAFFA FADLAN ANDIKA
H1051221003

SKRIPSI

PROGRAM STUDI REKAYASA SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2026

IMPLEMENTASI KOMUNIKASI BLUETOOTH LOW ENERGY (BLE) PADA SISTEM PENGUNCIAN KOTAK AMAL DENGAN AUTENTIKASI BIOMETRIK ANDROID DAN PEMBATASAN JARAK AKSES

DAFFA FADLAN ANDIKA
H1051221003

Skripsi
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Komputer pada Program Studi Rekayasa Sistem Komputer

PROGRAM STUDI REKAYASA SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir	: Implementasi Komunikasi Bluetooth Low Energy (BLE) pada Sistem Penguncian Kotak Amal dengan Autentikasi Biometrik Android dan Pembatasan Jarak Akses
Nama Mahasiswa	: Daffa Fadlan Andika
NIM	: H1051221003
Jurusan/Program Studi	: Rekayasa Sistem Komputer
Tanggal Lulus	: 28 Juli 2026
SK Pembimbing	: No.1125/DST/UN22.8/DT.00.09/2026/Tanggal 16 Maret 2026
SK Penguji	: No.4845/DST/UN22.8/DT.00.09/2026/Tanggal 27 Juli 2026

Dosen Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Uray Ristian, S.Kom., M.Kom.	Hirzen Hasfani, S.Kom., M.Cs.
NIP. 199012012019031017	NIP. 199305032022031003

Dosen Penguji

Ketua Penguji	Anggota Penguji
Hafiz Muhardi, S.T., M.Kom.	Kasliono, S.Mat., M.Cs.
NIP. 199007232023211017	NIP. 199306202022031005

Pimpinan Sidang (merangkap anggota penguji)	Sekretaris Sidang (merangkap anggota penguji)
Uray Ristian, S.Kom., M.Kom.	Hirzen Hasfani, S.Kom., M.Cs.
NIP. 199012012019031017	NIP. 199305032022031003

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tanjungpura

Prof. Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si.
NIP. 197108022000031001

PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama	: Daffa Fadlan Andika
NIM	: H1051221003
Jurusan/Program Studi	: Rekayasa Sistem Komputer
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

dengan ini menyatakan bahwa dokumen ilmiah Tugas Akhir yang disajikan ini tidak mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2021. Apabila di kemudian hari dokumen ilmiah Tugas Akhir ini mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai ketentuan perundangan tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Demikian pernyataan ini untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Pontianak, 28 Juli 2026



Daffa Fadlan Andika
H1051221003

Implementasi Komunikasi Bluetooth Low Energy (BLE) pada Sistem Penguncian Kotak Amal dengan Autentikasi Biometrik Android dan Pembatasan Jarak Akses

Abstrak

Kotak amal yang ditempatkan pada rumah ibadah maupun area publik membutuhkan sistem penguncian yang dapat membatasi akses hanya kepada petugas yang berwenang dan berada di sekitar perangkat. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan komunikasi Bluetooth Low Energy (BLE) pada sistem penguncian kotak amal dengan autentikasi biometrik Android dan pembatasan akses berdasarkan nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI). Sistem dirancang menggunakan aplikasi Android sebagai BLE *client* dan ESP32-C3 sebagai BLE *server* yang mengendalikan motor servo sebagai aktuator pengunci. Pengujian dilakukan dengan mengukur waktu pembentukan komunikasi BLE, waktu respon dari autentikasi biometrik hingga aktuator bekerja, serta nilai RSSI pada jarak 1 m, 2 m, dan 3 m dalam kondisi Non-Line of Sight (NLOS). Hasil pengujian menunjukkan bahwa komunikasi BLE dapat disiapkan dengan rata-rata waktu 419,63 ms, dengan rentang 321 ms hingga 501 ms. Waktu respon dari proses validasi biometrik hingga aktuator bekerja memperoleh rata-rata 238,50 ms, dengan rentang 209 ms hingga 281 ms. Pengujian RSSI menghasilkan rata-rata -73,00 dBm pada jarak 1 m, -77,25 dBm pada jarak 2 m, dan -80,63 dBm pada jarak 3 m. *Threshold* RSSI ditetapkan sebesar -83 dBm berdasarkan batas bawah RSSI pada pengujian jarak 1 m. Hasil penelitian menunjukkan bahwa BLE, autentikasi biometrik Android, dan pembatasan akses berbasis RSSI dapat diterapkan pada prototipe penguncian kotak amal berbasis akses lokal.

Kata kunci: Bluetooth Low Energy, Kotak Amal, Autentikasi Biometrik Android, RSSI, ESP32-C3.

Implementation of Bluetooth Low Energy (BLE) Communication in a Charity Box Locking System Using Android Biometric Authentication and Access Range Restriction

Abstract

Charity boxes placed in houses of worship and public areas require a locking system that can restrict access only to authorized personnel located near the device. This study aims to implement Bluetooth Low Energy (BLE) communication in a charity box locking system using Android biometric authentication and access restriction based on the Received Signal Strength Indicator (RSSI). The system was designed using an Android application as the BLE client and an ESP32-C3 as the BLE server that controls a servo motor as the locking actuator. The testing was conducted by measuring the BLE communication establishment time, the response time from biometric authentication to actuator execution, and RSSI values at distances of 1 m, 2 m, and 3 m under Non-Line of Sight (NLOS) conditions. The test results show that BLE communication was established with an average time of 419.63 ms, ranging from 321 ms to 501 ms. The response time from biometric validation to actuator execution reached an average of 238.50 ms, ranging from 209 ms to 281 ms. RSSI testing produced average values of -73.00 dBm at 1 m, -77.25 dBm at 2 m, and -80.63 dBm at 3 m. The RSSI threshold was set at -83 dBm based on the lower RSSI limit obtained from the 1 m distance test. The results indicate that BLE communication, Android biometric authentication, and RSSI-based access restriction can be applied to a local-access charity box locking prototype.

Keywords: *Bluetooth Low Energy, Charity Box, Android Biometric Authentication, RSSI, ESP32-C3.*

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **"Implementasi Komunikasi Bluetooth Low Energy (BLE) Pada Sistem Penguncian Kotak Amal Dengan Autentikasi Biometrik Android Dan Pembatasan Jarak Akses".** Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom.) pada Jurusan Rekayasa Sistem Komputer Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura Pontianak.

Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari segala dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Sebagai penghargaan, izinkan penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura.
2. Ibu Rahmi Hidayati, S.Kom., M.Cs., selaku Ketua Jurusan Rekayasa Sistem Komputer FMIPA Universitas Tanjungpura Pontianak.
3. Bapak Drs. Cucu Suhery, MA., sebagai dosen Pembimbing Akademik (PA) yang telah memberikan masukan dalam bimbingan selama perkuliahan.
4. Bapak Uray Ristian, S.Kom., M.Kom., sebagai dosen Pembimbing Pertama yang telah memberikan motivasi, pandangan dan masukan dalam bimbingan pengerjaan tugas akhir ini.
5. Bapak Hirzen Hasfani, S.Kom., M.Cs., sebagai dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan masukan serta meluangkan waktu dan pikiran selama bimbingan tugas akhir ini.
6. Bapak Hafiz Muhardi, S.T., M.Kom., selaku dosen Penguji Pertama yang telah memberikan masukan dan pertanyaan guna memperkaya isi dari tugas akhir ini.
7. Bapak Kasliono, S.Mat., M.Cs., selaku dosen Penguji Kedua yang telah memberikan masukan dan pertanyaan guna memperkaya isi dari tugas akhir ini.

8. Kepada kedua orang tua, Bapak Rio Andika dan Ibu Eka Fitria, yang selalu memberikan dukungan berupa finansial dan moral, doa, serta kasih sayang tanpa henti.
9. Kakak dan adik-adik, yang selalu memberikan semangat, dukungan, serta menjadi tempat berbagi cerita selama proses perkuliahan dan penyusunan tugas akhir ini.
10. Saudari Bintang Hijra Cindy yang senantiasa menemani, mendengarkan keluh kesah, memberikan dukungan, semangat, bantuan dalam bentuk apapun sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
11. Teman-teman Sistem Komputer 2022 (Cytigon) yang telah memberikan semangat dan dukungan dalam menjalani proses perkuliahan dan penulisan tugas akhir ini.
12. Semua pihak yang terlibat langsung maupun yang tidak langsung dalam penulisan tugas akhir ini.

Pontianak, 28 Juli 2026



Daffa Fadlan Andika
H1051221003

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ii
PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK iii
Abstrak iv
Abstract v
PRAKATA vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR KODE PROGRAM xiii
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 4
1.5 Manfaat Penelitian 4
1.6 Sistematika Penelitian 5
BAB 2 LANDASAN TEORI 7
2.1 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu 7
2.2 Kotak Amal 9
2.3 Bluetooth Low Energy (BLE) 10
2.4 Autentikasi Biometrik Android 15
2.5 *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) 16
2.6 ESP32-C3 17
2.7 Servo 18
2.8 Arduino IDE 19
2.9 Android Studio 19
BAB 3 METODE PENELITIAN 21
3.1 Studi Literatur 22
3.2 Analisis Kebutuhan 22
3.2.1 Kebutuhan Perangkat Keras 22
3.2.2 Kebutuhan Perangkat Lunak 22
3.3 Perancangan Sistem 23

3.3.1 Perancangan Perangkat Keras 23
3.3.2 Perancangan Perangkat Lunak 23
3.4 Implementasi Sistem 23
3.5 Pengujian Sistem 24
3.6 Kesimpulan dan Saran 24
BAB 4 PERANCANGAN 25
4.1 Deskripsi Sistem 25
4.2 Perancangan Arsitektur Sistem 25
4.3 Perancangan Perangkat Keras 27
4.4 Perancangan Perangkat Lunak 29
4.4.1 Perancangan BLE *Server* dan *Pairing* pada ESP32-C3 29
4.4.2 Perancangan Penerimaan Perintah dan Pembacaan RSSI 31
4.4.3 Perancangan GATT pada Aplikasi Android 31
4.4.4 Perancangan Autentikasi Biometrik dan Pengiriman Perintah Android 32
4.4.5 Perancangan Penerimaan Notifikasi dan Pencatatan *Log* Pengujian 33
4.4.6 Perancangan Ekspor *Log* Pengujian 34
4.4.7 Perancangan Antarmuka Aplikasi Android 35
4.5 Perancangan *Log* Pengujian 36
4.6 Perancangan Pengujian Sistem 37
4.6.1 Perancangan Pengujian Waktu Respon Pembentukan Komunikasi BLE 38
4.6.2 Perancangan Pengujian Waktu Respon Biometrik 38
4.6.3 Perancangan Pengujian RSSI pada Kondisi NLOS 39
4.6.4 Perancangan Penetapan dan Pengujian *Threshold* RSSI 40
4.6.5 Perancangan Pengujian Black Box 41
BAB 5 IMPLEMENTASI, PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN 43
5.1 Implementasi Perangkat Keras 43
5.2 Implementasi Perangkat Lunak 44
5.2.1 Implementasi BLE *Server* dan *Pairing* pada ESP32-C3 45
5.2.2 Implementasi Penerimaan Perintah dan Pembacaan RSSI 46
5.2.3 Implementasi GATT pada Aplikasi Android 48
5.2.4 Implementasi Autentikasi Biometrik dan Pengiriman Perintah Android 49
5.2.5 Implementasi Penerimaan Notifikasi dan Pencatatan *Log* Pengujian 52

5.2.6 Implementasi Ekspor *Log* Pengujian 54
5.2.7 Implementasi Antarmuka Aplikasi Android 56
5.3 Pengujian Sistem 57
5.3.1 Pengujian Waktu Respon Pembentukan Komunikasi BLE 58
5.3.2 Pengujian Waktu Respon Biometrik terhadap Eksekusi Aktuator 59
5.3.3 Pengujian RSSI Pada Kondisi NLOS 60
5.3.4 Penetapan dan Pengujian *Threshold* RSSI untuk Pembatasan Jarak Akses 62
5.3.5 Pengujian Black Box 64
5.4 Pembahasan 65
BAB 6 PENUTUP 68
6.1 Kesimpulan 68
6.2 Saran 68
DAFTAR PUSTAKA 70
LAMPIRAN 73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kotak Amal 9
Gambar 2.2 Arsitektur BLE 11
Gambar 2.3 Pembagian Kanal BLE 12
Gambar 2.4 ESP32-C3 18
Gambar 2.5 Servo 19
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 21
Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem 25
Gambar 4.2 Rancangan Arsitektur Sistem 26
Gambar 4.3 Perancangan Perangkat Keras 28
Gambar 4.4 Alur Perancangan BLE *Server* dan *Pairing* pada ESP32-C3..... 30
Gambar 4.5 Alur Penerimaan Perintah dan Pembacaan RSSI..... 31
Gambar 4.6 Alur Perancangan GATT pada Aplikasi Android..... 32
Gambar 4.7 Alur Perancangan Autentikasi Biometrik dan Pengiriman Perintah. 33
Gambar 4.8 Alur perancangan penerimaan notifikasi dan pencatatan *log*..... 34
Gambar 4.9 Alur perancangan ekspor *log* pengujian..... 35
Gambar 4.10 Perancangan antarmuka aplikasi Android..... 36
Gambar 5.1 Implementasi Perangkat Keras..... 43
Gambar 5.2 Implementasi Antarmuka Aplikasi Android 56
Gambar 5.3 Proses Pengujian Sistem 57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu 7
Tabel 2.2 Klasifikasi Nilai RSSI 17
Tabel 4.1 Penggunaan Pin ESP32-C3 dan Servo 29
Tabel 4.2 Struktur *Log* Pengujian 37
Tabel 4.3 Langkah Pengujian Waktu Pembentukan Komunikasi BLE 38
Tabel 4.4 Langkah Pengujian Waktu Respon Biometrik 39
Tabel 4.5 Langkah Pengujian RSSI pada Kondisi NLOS 40
Tabel 4.6 Langkah Penetapan dan Pengujian *Threshold* RSSI 40
Tabel 4.7 Parameter Pengujian Black Box 41
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Waktu Respon Pembentukan Komunikasi BLE 58
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Waktu Respon Biometrik Ke Eksekusi Aktuator 59
Tabel 5.3 Hasil Pengujian RSSI Pada Kondisi NLOS Jarak 1m 60
Tabel 5.4 Hasil Pengujian RSSI Pada Kondisi NLOS Jarak 2m 61
Tabel 5.5 Hasil Pengujian RSSI Pada Kondisi NLOS Jarak 3m 61
Tabel 5.6 Aturan *threshold* RSSI 62
Tabel 5.7 Hasil Pengujian *Threshold* RSSI Untuk Pembatasan Jarak Akses 63
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Black Box 64

DAFTAR KODE PROGRAM

Kode Program 5.1 Implementasi Perangkat Keras 44
Kode Program 5.2 Implementasi BLE *Server* dan *Pairing* pada ESP32-C3 45
Kode Program 5.3 Implementasi Penerimaan Perintah dan Pembacaan RSSI 46
Kode Program 5.4 Implementasi GATT pada Aplikasi Android 48
Kode Program 5.5 Implementasi Autentikasi Biometrik dan Pengiriman Perintah Android 50
Kode Program 5.6 Implementasi Penerimaan Notifikasi dan Pencatatan *Log* Pengujian 53
Kode Program 5.7 Implementasi Ekspor *Log* Pengujian 54

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai negara dengan indeks kedermawanan masyarakat yang tinggi dalam beberapa tahun terakhir, Indonesia memiliki budaya sedekah dan infak yang melekat dalam kehidupan sosial masyarakat. Menurut laporan dari Charities Aid Foundation (CAF), partisipasi masyarakat Indonesia dalam berdonasi secara langsung berada pada peringkat atas secara global (Charities Aid Foundation, 2023). Kotak amal yang ditempatkan di rumah ibadah maupun area publik menjadi salah satu media pengumpulan donasi yang sering digunakan. Namun, penempatan kotak amal pada ruang terbuka juga memiliki risiko keamanan, terutama terhadap tindakan pencurian atau akses tidak sah. Sistem pengamanan mekanik seperti gembok dan pengawasan visual melalui *Closed Circuit Television* (CCTV) masih bersifat pasif sehingga belum sepenuhnya mampu mencegah pembukaan paksa secara langsung di lokasi kejadian (Yasharsujud dkk., 2023).

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi *Internet of Things* (IoT) mulai banyak diterapkan pada sistem keamanan, termasuk pada pengamanan kotak amal. Akan tetapi, beberapa penerapan sistem keamanan elektronik masih memiliki tantangan pada sisi otorisasi pengguna. Salah satu metode yang umum digunakan adalah *Radio Frequency Identification* (RFID). Penggunaan RFID dapat membantu proses identifikasi, tetapi hak akses masih bergantung pada kartu fisik. Kondisi tersebut menimbulkan risiko ketika kartu hilang, dipindahtangankan, atau digunakan oleh pihak yang tidak berwenang.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, Bluetooth Low Energy (BLE) dapat digunakan sebagai komunikasi jarak dekat yang diintegrasikan dengan autentikasi biometrik pada perangkat Android. Berbeda dengan RFID yang menggunakan kartu fisik, autentikasi biometrik memanfaatkan karakteristik pengguna pada perangkat Android sebelum perintah akses dikirimkan. Dengan cara ini, proses akses tidak hanya bergantung pada kepemilikan media fisik, tetapi juga pada proses validasi pengguna melalui biometrik. Pendekatan ini dapat mengurangi risiko

pemindahtanganan hak akses dan lebih sesuai untuk sistem penguncian yang membutuhkan akses lokal di sekitar perangkat.

Selain autentikasi, komunikasi BLE juga memungkinkan pembacaan *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) sebagai indikator kedekatan perangkat. Nilai RSSI dapat digunakan sebagai dasar pembatasan jarak akses, meskipun nilainya dapat berubah karena pengaruh lingkungan dan penghalang. Oleh karena itu, penelitian ini menempatkan pengukuran RSSI pada kondisi *Non-Line of Sight* (NLOS) sebagai bagian dari pengujian agar ambang akses tidak ditentukan berdasarkan asumsi umum.

Penelitian berjudul "Sistem Keamanan Kotak Amal Berbasis *Internet of Things* (IoT)" (Yasharsujud dkk., 2023) membahas sistem penguncian kotak amal menggunakan NodeMCU ESP32, RFID-RC522, dan sensor getar. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa RFID dapat digunakan untuk membuka aktuator pengunci. Namun, penggunaan kartu fisik masih menyisakan keterbatasan karena hak akses dapat berpindah apabila kartu digunakan oleh pihak lain.

Penelitian lain berjudul "Monitoring Sistem Keamanan Laci Kasir Dengan *Fingerprint* Berbasis Android" (Muslih Mardia dkk., 2022) membahas penggunaan biometrik sidik jari pada aplikasi Android untuk mengendalikan aktuator pengunci. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa biometrik dapat digunakan sebagai tahapan validasi sebelum aktuator dijalankan. Namun, objek yang digunakan adalah laci kasir dan belum membahas pembatasan akses berdasarkan jarak perangkat.

Penelitian berjudul "Pendeteksi Kehadiran Menggunakan ESP32 Untuk Sistem Pengunci Pintu Otomatis" (Prafanto dkk., 2021) menggunakan kemampuan BLE pada ESP32 untuk mendeteksi kedekatan perangkat. Sistem tersebut memanfaatkan nilai RSSI sebagai dasar pengambilan keputusan, dengan ambang -60 dBm untuk menentukan kondisi perangkat terdeteksi. Penelitian tersebut menjadi salah satu acuan dalam penggunaan RSSI, tetapi pengujiannya belum difokuskan pada skenario NLOS pada kotak amal.

Berdasarkan analisis terhadap penelitian-penelitian terdahulu, maka dilakukan penelitian dengan judul "Implementasi Komunikasi Bluetooth Low Energy (BLE) pada Sistem Penguncian Kotak Amal dengan Autentikasi Biometrik Android dan Pembatasan Jarak Akses". Penelitian ini bertujuan untuk mengukur

performa waktu respon sistem dalam komunikasi BLE dari aplikasi Android ke ESP32-C3, waktu respon dari proses validasi biometrik hingga pengunci terbuka, serta pengukuran RSSI pada beberapa jarak dalam kondisi NLOS. Hasil pengujian digunakan untuk melihat kelayakan penerapan BLE, biometrik Android, dan pembatasan jarak akses pada prototipe penguncian kotak amal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka didapatlah rumusan permasalahan sebagai berikut:

1. Berapa lama waktu respon sistem yang dibutuhkan dalam membentuk komunikasi Bluetooth Low Energy (BLE) dari aplikasi Android ke ESP32-C3?
2. Berapa lama waktu respon sistem dari proses validasi biometrik di aplikasi Android hingga perintah dijalankan pada aktuator?
3. Bagaimana mengukur nilai RSSI dari tiap jarak antar perangkat Android ke kotak amal dengan kondisi NLOS untuk pembatasan jarak akses?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem yang dibangun merupakan prototipe penguncian kotak amal untuk kebutuhan implementasi dan pengujian.
2. Komunikasi dibatasi menggunakan BLE antara satu perangkat Android sebagai admin dan satu perangkat pengunci berbasis ESP32-C3.
3. Aktuator yang digunakan adalah servo, dan pengujian aksi penguncian dibatasi pada kondisi buka dan tutup sesuai sudut yang ditentukan.
4. Autentikasi pada aplikasi dibatasi menggunakan biometrik Android, dan penelitian tidak membahas akurasi biometrik maupun pengelolaan keamanan data biometrik.
5. Pengukuran waktu respon BLE dibatasi pada skenario uji yang ditetapkan pada satu perangkat Android dan satu perangkat pengunci pada sesi koneksi berjalan.

6. Pengukuran waktu respon biometrik dibatasi pada durasi dari validasi biometrik hingga pengunci terbuka pada perangkat uji yang digunakan.
7. Pengukuran RSSI dibatasi pada beberapa jarak uji dan skenario NLOS yang ditetapkan, sehingga hasilnya tidak digeneralisasikan untuk semua kondisi lingkungan.
8. Pembatasan jarak akses dibatasi pada penggunaan ambang RSSI berdasarkan hasil pengukuran, dan penelitian tidak membahas pemodelan propagasi sinyal atau metode estimasi jarak kompleks.
9. Penelitian berfokus pada pengukuran waktu respon dan karakteristik RSSI, serta tidak membahas pengujian keamanan BLE secara mendalam seperti *sniffing*, MITM, atau *spoofing*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengukur waktu respon sistem yang dibutuhkan dalam membentuk komunikasi Bluetooth Low Energy (BLE) dari aplikasi Android ke ESP32-C3.
2. Mengukur waktu respon sistem dari proses validasi biometrik di aplikasi Android hingga pengunci kotak amal terbuka.
3. Mengukur nilai RSSI pada tiap jarak antara perangkat Android dan kotak amal pada kondisi non line of sight sebagai dasar pembatasan jarak akses.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan gambaran penerapan sistem penguncian kotak amal berbasis akses lokal menggunakan komunikasi Bluetooth Low Energy (BLE) dan autentikasi biometrik Android. Sistem yang dirancang dapat menjadi bahan pertimbangan bagi pengelola kotak amal dalam menerapkan mekanisme buka dan tutup yang hanya dilakukan ketika petugas berada di lokasi.

Selain itu, hasil pengukuran waktu respon komunikasi BLE dan waktu respon dari proses validasi biometrik hingga pengunci terbuka dapat digunakan sebagai bahan evaluasi terhadap kelayakan sistem saat digunakan. Pengukuran RSSI pada beberapa jarak dengan kondisi *Non-Line of Sight* (NLOS) juga dapat menjadi dasar

penentuan ambang pembatasan akses agar perintah hanya diproses ketika admin berada pada jarak yang ditetapkan.

1.6 Sistematika Penelitian

Sistematika penulisan bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai alur dan isi penelitian. Penulisan tugas akhir ini disusun dalam enam bab agar pembahasan dapat dijelaskan secara berurutan, mulai dari permasalahan yang diangkat, dasar teori, metode penelitian, perancangan sistem, implementasi dan pengujian, hingga kesimpulan. Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari:

BAB I PENDAHULUAN

Bab pendahuluan berisi latar belakang yang menjelaskan alasan penelitian ini dilakukan, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab landasan teori berisi pembahasan mengenai teori dan komponen yang digunakan dalam penelitian. Pembahasan pada bab ini meliputi Bluetooth Low Energy (BLE), autentikasi biometrik Android, *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), ESP32-C3, servo, Arduino IDE, dan Android Studio.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab metode penelitian berisi tahapan yang dilakukan dalam membangun dan menguji sistem. Tahapan tersebut meliputi studi literatur, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi sistem, pengujian sistem, serta kesimpulan dan saran.

BAB IV PERANCANGAN

Bab perancangan menjelaskan rancangan sistem secara lebih rinci, baik dari sisi perangkat keras maupun perangkat lunak. Pada bab ini dijelaskan perancangan ESP32-C3, servo, komunikasi BLE, pembacaan RSSI, autentikasi biometrik, pencatatan dan ekspor *log* pengujian, antarmuka aplikasi Android, serta perancangan pengujian sistem.

BAB V IMPLEMENTASI, PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Bab implementasi, pengujian, dan pembahasan berisi penerapan sistem yang telah dirancang, hasil pengujian, serta pembahasan terhadap data yang diperoleh. Pengujian difokuskan pada waktu respon pembentukan komunikasi BLE, waktu respon dari validasi biometrik hingga pengunci terbuka, dan nilai RSSI pada beberapa jarak dengan kondisi NLOS.

BAB VI PENUTUP

Bab penutup berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Kesimpulan disusun berdasarkan rumusan masalah dan hasil pengujian yang telah dilakukan.