



**RANCANG BANGUN SISTEM PELACAKAN OBJEK
INDOOR MENGGUNAKAN *BLUETOOTH LOW ENERGY*
BERBASIS RSSI *FINGERPRINTING* DENGAN METODE
*RANDOM FOREST***

**TUGAS AKHIR
APLIKATIF**

**RAIHAN RAMANDHA SAPUTRA
41422110039**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**



**RANCANG BANGUN SISTEM PELACAKAN OBJEK
INDOOR MENGGUNAKAN *BLUETOOTH LOW ENERGY*
BERBASIS RSSI *FINGERPRINTING* DENGAN METODE
*RANDOM FOREST***

**TUGAS AKHIR
APLIKATIF**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

**RAIHAN RAMANDHA SAPUTRA
41422110039**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**

HALAMAN PENYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : RAIHAN RAMANDHA SAPUTRA
NIM : 41422110039
Fakultas/Program Studi : TEKNIK / TEKNIK ELEKTRO

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Tugas Akhir berjudul:

“Rancang Bangun Sistem Pelacakan Objek *Indoor* Menggunakan *Bluetooth Low Energy* Berbasis *RSSI Fingerprinting* dengan Metode *Random Forest*”

adalah hasil karya saya sendiri, tidak mengandung unsur plagiarisme, pelanggaran hak cipta, atau konten ilegal dalam bentuk apapun dan tidak melanggar hukum atau hak pihak manapun.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap pernyataan ini, saya bersedia menanggung seluruh konsekuensi hukum dan membebaskan Universitas Mercu Buana dari segala bentuk tuntutan hukum dan saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 4 Agustus 2026



RAIHAN RAMANDHA SAPUTRA

HALAMAN SURAT KETERANGAN HASIL UJI TURNITIN

Menerangkan bahwa Jurnal / Karya Ilmiah / Laporan Tugas Akhir pada BAB I, BAB III, BAB IV, dan BAB V / Praktek Keinsinyuran atas nama:

Nama : **RAIHAN RAMANDHA SAPUTRA**
NIM : **41422110039**
Program Studi : **Teknik Elektro**
Judul Tugas Akhir / Tesis
/ Praktek Keinsinyuran : **RANCANG BANGUN SISTEM PELACAKAN
OBJEK INDOOR MENGGUNAKAN BLUETOOTH
LOW ENERGY BERBASIS RSSI
FINGERPRINTING DENGAN METODE RANDOM
FOREST**

Telah dilakukan pengecekan *Similarity* menggunakan aplikasi/sistem *Turnitin* pada **Kamis, 13 Agustus 2026** dengan hasil presentase sebesar **11 %** dan dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 13 Agustus 2026

Administrator Turnitin,



Itmam Haidi Syarif

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : RAIHAN RAMANDHA SAPUTRA
NIM : 41422110039
Fakultas/Program Studi : TEKNIK / TEKNIK ELEKTRO
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Pelacakan Objek *Indoor*
Menggunakan *Bluetooth Low Energy* Berbasis
RSSI *Fingerprinting* dengan Metode *Random*
Forest

Telah berhasil dipertahankan pada sidang tanggal 4 Agustus 2026 dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Disahkan Oleh:
Pembimbing



Prof. Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng.

NUPTK: 1559748649130102

Jakarta, 4 Agustus 2026

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.

NUPTK: 6639750651230132

Ketua Program Studi
Teknik Elektro



Dr. Eng. Ir. Heru Suwoyo, S.T., M.Sc.

NUPTK: 2146770671130403

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng. selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik.
3. Dr. Eng. Ir. Heru Suwoyo, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
4. Prof. Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Dosen Teknik Elektro Universitas Mercu Buana yang telah memberikan pelajaran dan ilmu yang bermanfaat bagi penulis untuk menunjang penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Kedua Orang Tua dan keluarga tercinta yang telah memberikan dukungan, doa dan berbagai motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
7. Teman-teman Teknik Elektro Angkatan 2022 yang telah memberikan semangat dan bantuannya dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
8. Rekan-Rekan UMB E-Sport 2024/2025, Muhammad Lutfi dan Rommy Ramadhani yang telah memberikan penulis semangat dan bantuan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, 4 Agustus 2026

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Raihan Ramandha Saputra', written in a cursive style.

Raihan Ramandha Saputra

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB

Sebagai sivitas akademik Universitas Mercu Buana, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : RAIHAN RAMANDHA SAPUTRA
NIM : 41422110039
Fakultas/Program Studi : TEKNIK / TEKNIK ELEKTRO
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Pelacakan Objek *Indoor*
Menggunakan *Bluetooth Low Energy* Berbasis
RSSI *Fingerprinting* dengan Metode *Random Forest*

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini memberikan izin dan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mercu Buana **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul di atas beserta perangkat yang ada (jika diperlukan).

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Mercu Buana berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 4 Agustus 2026

Yang menyatakan,



RAIHAN RAMANDHA SAPUTRA

**RANCANG BANGUN SISTEM PELACAKAN OBJEK *INDOOR*
MENGUNAKAN *BLUETOOTH LOW ENERGY* BERBASIS RSSI
FINGERPRINTING DENGAN METODE *RANDOM FOREST***

RAIHAN RAMANDHA SAPUTRA

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pelacakan objek *indoor* berbasis *Bluetooth Low Energy* (BLE), menganalisis performa algoritma Random Forest dalam mengklasifikasikan posisi objek, serta menganalisis pengaruh jarak dan penghalang fisik terhadap karakteristik sinyal *Received Signal Strength Indicator* (RSSI). Variabel penelitian meliputi nilai RSSI sebagai fitur input yang diterima empat *anchor* dari satu tag BLE, serta label zona (Z1–Z20) sebagai *output* klasifikasi posisi. Sistem dirancang menggunakan satu unit ESP32-C3 Super Mini sebagai tag BLE, satu unit ESP32-C3 Core Board sebagai Wi-Fi *access point* lokal, empat unit ESP32-C3 Core Board sebagai *anchor*, serta Raspberry Pi 4 Model B sebagai *server* inferensi yang menjalankan *pipeline Moving Average Filter* dan model *Random Forest*. Pengambilan data *fingerprinting* dilakukan pada ruangan berukuran $\pm 3,2 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ yang dibagi menjadi 20 zona dengan jarak antar titik referensi $\pm 80 \text{ cm}$. Total *dataset* sebanyak 6.000 sampel dengan distribusi merata 300 sampel per zona menggunakan teknik *purposive sampling*, kemudian dibagi dengan rasio 80% *training* dan 20% *testing* secara *stratified*, menghasilkan 4.800 sampel *training* dan 1.200 sampel data uji. Metode analisis menggunakan algoritma *Random Forest* dengan 200 pohon keputusan yang dikombinasikan dengan *Simple Moving Average Filter* sebagai tahap *preprocessing*. Hasil evaluasi model pada data *offline* menunjukkan akurasi 98,83%, presisi 98,90%, *recall* 98,83%, dan *F1-Score* 98,84% dari 1.200 sampel data uji. Sementara itu, pengujian *real-time* pada empat sesi pengujian menunjukkan akurasi rata-rata sebesar 36,25% (rentang 10%-60%) akibat fluktuasi sinyal BLE yang menyebabkan distribusi RSSI bergeser dari distribusi *fingerprint* saat pelatihan, khususnya pada zona dengan selisih RSSI di bawah 5 dBm. Disimpulkan bahwa pendekatan BLE RSSI *fingerprinting* dengan *Random Forest* efektif untuk klasifikasi posisi *indoor* pada kondisi *offline*, namun masih memerlukan optimasi untuk mencapai stabilitas prediksi yang memadai pada kondisi *real-time*.

Kata Kunci: *Bluetooth Low Energy*, RSSI *Fingerprinting*, *Random Forest*, *Indoor Positioning*, ESP32

**RANCANG BANGUN SISTEM PELACAKAN OBJEK INDOOR
MENGUNAKAN *BLUETOOTH LOW ENERGY* BERBASIS RSSI
FINGERPRINTING DENGAN METODE *RANDOM FOREST***

RAIHAN RAMANDHA SAPUTRA

ABSTRACT

This study aims to design and implement a Bluetooth Low Energy (BLE)-based indoor object tracking system, analyze the performance of the Random Forest algorithm in classifying object positions, and analyze the effects of distance and physical obstacles on the characteristics of the Received Signal Strength Indicator (RSSI). The research variables include RSSI values as input features received by four anchors from a single BLE tag, as well as zone labels (Z1–Z20) as the position classification output. The system was designed using one ESP32-C3 Super Mini unit as a BLE tag, one ESP32-C3 Core Board unit as a local Wi-Fi access point, and four ESP32-C3 Core Board units as anchors, along with a Raspberry Pi 4 Model B as an inference server running a Moving Average Filter pipeline and a Random Forest model. Fingerprinting data collection was conducted in a room measuring approximately 3.2 m × 4 m, divided into 20 zones with a distance of approximately 80 cm between reference points. The total dataset consists of 6,000 samples with an even distribution of 300 samples per zone using purposive sampling, then divided in a stratified ratio of 80% training and 20% testing, resulting in 4,800 training samples and 1,200 test samples. The analysis method uses the Random Forest algorithm with 200 decision trees combined with a Simple Moving Average Filter as a preprocessing step. Model evaluation results on offline data showed an accuracy of 98.83%, precision of 98.90%, recall of 98.83%, and an F1-Score of 98.84% from the 1,200 test data samples. Meanwhile, real-time testing across four test sessions showed an average accuracy of 36.25% (ranging from 10% to 60%) due to BLE signal fluctuations that caused the RSSI distribution to shift from the fingerprint distribution during training, particularly in zones with an RSSI difference below 5 dBm. It is concluded that the BLE RSSI fingerprinting approach using Random Forest is effective for indoor position classification under offline conditions; however, it still requires optimization to achieve adequate prediction stability under real-time conditions.

Keywords: *Bluetooth Low Energy, RSSI Fingerprinting, Random Forest, Indoor Positioning, ESP32*

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	0
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENYATAAN KARYA SENDIRI.....	ii
HALAMAN SURAT KETERANGAN HASIL UJI TURNITIN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB.....	vii
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.4.1 Manfaat Teoritis	4
1.4.2 Manfaat Praktis.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 <i>Object Tracking System</i>	7
2.2 <i>Bluetooth Low Energy</i>	11
2.3 <i>Received Signal Strength Indicator (RSSI)</i>	15
2.4 <i>Metode Fingerprinting</i>	18

2.5	Algoritma <i>Random Forest</i>	20
2.6	<i>Moving Average Filter</i>	22
2.7	ESP32-C3.....	24
2.8	Raspberry Pi 4 Model B.....	29
2.9	Penelitian Terdahulu.....	33
BAB III.....		47
PERANCANGAN ALAT DAN SISTEM.....		47
3.1	Perancangan Sistem	47
3.1.1	Prinsip Kerja Alat.....	48
3.2	Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	49
3.2.1	Alat dan Bahan	49
3.2.2	Perancangan Elektronik.....	50
3.3	Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	54
3.3.1	<i>Firmware</i> ESP32-C3 Tag.....	54
3.3.2	<i>Firmware</i> ESP32-C3 Anchor.....	54
3.3.3	Perancangan Perangkat Lunak Server Raspberry Pi 4.....	55
3.4	Perancangan dan Pengambilan Data <i>Fingerprinting</i>	56
3.5	<i>Flowchart</i> Sistem	58
3.5.1	<i>Flowchart</i> Sistem Keseluruhan.....	59
3.5.2	<i>Flowchart</i> Fase <i>Offline</i> dan Fase <i>Online</i>	60
3.6	Skenario Pengujian.....	63
3.6.1	Pengujian Akurasi Klasifikasi Posisi	63
3.6.2	Pengujian Karakteristik Sinyal RSSI	64
BAB IV		65
HASIL DAN PEMBAHASAN		65
4.1	Implementasi Sistem	65
4.1.1	Implementasi Hardware	65
4.1.2	Implementasi Software.....	67
4.2	Pengambilan Data <i>Fingerprinting</i>	69
4.3	Hasil Training Model <i>Random Forest</i>	71
4.3.1	Konfigurasi dan Pembagian Data.....	71

4.3.2	Hasil Evaluasi Model	74
4.3.3	Analisis Spatial Error	76
4.3.4	Analisis Misklasifikasi	76
4.4	Pengujian Akurasi Klasifikasi Posisi	77
4.4.1	Prosedur Pengujian	77
4.4.2	Hasil Pengujian	78
4.4.3	Pembahasan	80
4.5	Analisis Karakteristik Sinyal RSSI	82
4.5.1	Distribusi RSSI per <i>Anchor</i>	82
4.5.2	Fluktuasi RSSI dan Pengaruh <i>Multipath Fading</i>	84
4.5.3	Separabilitas Sinyal Antar Zona	84
4.5.4	Pengaruh Furnitur Terhadap Karakteristik RSSI	86
4.5.5	Gap Performa <i>Offline</i> vs <i>Real-Time</i>	87
4.6	Pengujian <i>Real-Time</i>	87
4.6.1	Prosedur Pengujian <i>Real-Time</i>	87
4.6.2	Pengamatan Performa <i>Real-Time</i>	89
4.6.3	Analisis Ketidakstabilan <i>Real-Time</i>	91
4.6.4	Keterbatasan dan Cakupan Pengujian <i>Real-Time</i>	91
4.7	Pembahasan Umum	92
4.7.1	Performa Model <i>Random Forest</i> Pada Data <i>Offline</i>	92
4.7.2	Kontribusi <i>Moving Average</i> Terhadap Performa Model	93
4.7.3	Perbandingan Dengan Penelitian Terdahulu	94
4.7.4	Keterbatasan Penelitian	95
BAB V		97
PENUTUP		97
5.1	Kesimpulan	97
5.2	Saran	98
DAFTAR PUSTAKA		100
LAMPIRAN		105

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Teknologi Indoor Positioning System	8
Tabel 2. 2 Nilai Path Loss Exponent pada berbagai kondisi lingkungan.....	17
Tabel 2. 3 Spesifikasi Chip ESP32-C3.....	25
Tabel 2. 4 Perbandingan Board ESP32-C3 yang Digunakan dalam Penelitian	27
Tabel 2. 5 Spesifikasi Raspberry Pi 4 Model B	30
Tabel 2. 6 Tinjauan Pustaka Terdahulu	36
Tabel 3. 1 Alat dan Bahan.....	49
Tabel 3. 2 Konfigurasi Pin ESP32-C3 Super Mini (Tag).....	51
Tabel 3. 3 Konfigurasi Pin ESP32-C3 Core Board (Anchor/Access Point)	53
Tabel 3. 4 Konfigurasi Port Raspberry Pi 4 Model B	54
Tabel 3. 5 Metrik Evaluasi Klasifikasi Posisi	63
Tabel 4. 1 Spesifikasi Perangkat Lunak Sistem	68
Tabel 4. 2 Statistik Deskriptif Dataset Radio Map.....	71
Tabel 4. 3 Cuplikan Data Radio Map Dari Zona 1	71
Tabel 4. 4 Pengaruh Nilai N terhadap Akurasi Model	72
Tabel 4. 5 Konfigurasi Model Random Forest.....	73
Tabel 4. 6 Hasil Evaluasi Model Random Forest.....	74
Tabel 4. 7 Classification Report per Zona.....	74
Tabel 4. 8 Analisis Spatial Error Model	76
Tabel 4. 9 Pola Misklasifikasi Model.....	77
Tabel 4. 10 Ringkasan Hasil Pengujian Real-Time pada Berbagai Kondisi Lingkungan	78
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Akurasi Klasifikasi Posisi Real-Time	79
Tabel 4. 12 Pasangan Zona dengan Selisih RSSI Terkecil.....	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur 40 kanal BLE pada pita 2,4 GHz: tiga kanal advertising (37, 38, 39) dan 37 kanal data (Sumber: Kandula et al., 2024).....	12
Gambar 2. 2 Dasar algoritma lokalisasi pada skenario offline dan online (Sumber: Aziz & Koo, 2025).....	19
Gambar 2. 3 Arsitektur algoritma Random Forest (Che et al., 2023)	21
Gambar 2. 4 Diagram Blok Fungsional ESP32-C3 (Sumber: Espressif Systems, n.d.)	27
Gambar 2. 5 ESP32-C3 Super Mini.....	28
Gambar 2. 6 ESP32-C3 Core Board	29
Gambar 2. 7 Raspberry Pi 4 Model B.....	32
Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem	47
Gambar 3. 2 Wiring ESP32-C3 Super Mini (Tag)	51
Gambar 3. 3 Wiring ESP32-C3 Core Board (Berlaku untuk 4 Anchor dan 1 Access Point).....	52
Gambar 3. 4 Koneksi Raspberry Pi 4 Model B + LCD TFT	53
Gambar 3. 5 Denah Ruangan dan Posisi Anchor	57
Gambar 3. 6 Flowchart Sistem Keseluruhan.....	59
Gambar 3. 7 Flowchart Fase Offline dan Fase Online	61
Gambar 4. 1 Tag ESP32-C3 Super Mini	66
Gambar 4. 2 Anchor ESP32-C3 Core Board Terpasang di Sudut Ruangan.....	66
Gambar 4. 3 Raspberry Pi 4 sebagai portable server	67
Gambar 4. 4 Denah ruangan dan tata letak titik referensi (Z1–Z20) serta posisi anchor (A1–A4)	70
Gambar 4. 5 Grafik Pengaruh Nilai N Terhadap Akurasi	72
Gambar 4. 6 Efektivitas Moving Average Filter Anchor 1 di Zona 1	73
Gambar 4. 7 Confusion Matrix hasil evaluasi model Random Forest	75
Gambar 4. 8 Screenshot tampilan visualisasi sistem real-time melalui browser ..	82
Gambar 4. 9 Grafik distribusi RSSI rata-rata per zona untuk setiap anchor.....	83
Gambar 4. 10 Tampilan antarmuka visualisasi posisi real-time melalui browser Raspberry Pi.....	88
Gambar 4. 11 Contoh Prediksi Stabil Pada Zona Dekat <i>Anchor</i>	90

Gambar 4. 12 Contoh fluktuasi prediksi pada zona dengan separabilitas RSSI rendah.....	91
Gambar 4. 13 Feature Importance.....	93

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Firmware ESP32-C3 Tag.....	105
Lampiran 2. Firmware ESP32-C3 Anchor	105
Lampiran 3. Firmware ESP32-C3 Access Point.....	107
Lampiran 4. Script Training Model Random Forest.....	107
Lampiran 5. Script server inferensi Raspberry Pi.....	124
Lampiran 6. Cuplikan dataset radio map	145
Lampiran 7. Data Mentah Hasil Pengujian Real-Time (4 Sesi)	146
Lampiran 8. Screenshot Web UI.....	148
Lampiran 9. Logbook Bimbingan	149
Lampiran 10. Curriculum Vitae	150