

PENGEMBANGAN SISTEM KEAMANAN KUNCI MOTOR BERBASIS *SMART RING* DAN ALARM UNTUK MENINGKATKAN KEAMANAN DENGAN ESP32

Muhammad vigi alvin fadloli¹, Bambang Minto Basuki², Anang Habibi³

^{1,2,3}Universitas Islam Malang

22001053001@unisma.ac.id, bambang.minto@unisma.ac.id, ananghabibi@unisma.ac.id

Abstract

The high rate of motorcycle theft necessitates the development of a more reliable security system than conventional mechanical locks. This study aims to develop a motorcycle security system based on a smart ring and alarm using an ESP32 microcontroller. The system employs Bluetooth Low Energy (BLE) technology as a contactless authentication method by identifying the unique UUID of a registered smart ring. The research method includes hardware and software design, system implementation, and performance testing covering functional testing, authentication, communication range, connection reliability, and response time. The test results indicate that the system can accurately distinguish between valid and invalid smart rings, automatically control the motorcycle locking and unlocking process, and activate the alarm when unauthorized access or tampering attempts are detected. Furthermore, BLE communication demonstrates good stability within a certain range with relatively fast response time. These results show that the proposed system can enhance motorcycle security and provide a practical and effective digital security solution.

Keywords: security system, smart ring, ESP32, Bluetooth Low Energy, motorcycle alarm.

Abstraksi

Tingginya angka pencurian sepeda motor mendorong perlunya sistem keamanan yang lebih andal dibandingkan kunci mekanis konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem keamanan kunci sepeda motor berbasis *smart ring* dan alarm menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem memanfaatkan teknologi Bluetooth Low Energy (BLE) sebagai metode autentikasi tanpa sentuhan dengan membaca UUID unik dari *smart ring* yang telah terdaftar. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi sistem, serta pengujian kinerja yang mencakup pengujian fungsional, autentikasi, jangkauan komunikasi, keandalan koneksi, dan waktu respons sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membedakan *smart ring* yang valid dan tidak valid secara akurat, mengontrol proses penguncian dan pembukaan kunci sepeda motor secara otomatis, serta mengaktifkan alarm ketika terdeteksi upaya akses tidak sah atau pembobolan. Selain itu, komunikasi BLE menunjukkan kestabilan yang baik pada jarak tertentu dengan waktu respons yang relatif cepat. Berdasarkan hasil tersebut, sistem yang dikembangkan dapat meningkatkan keamanan sepeda motor dan memberikan solusi keamanan digital yang praktis dan efektif.

Kata kunci: sistem keamanan, smart ring, ESP32, Bluetooth Low Energy, alarm sepeda motor.

I. PENDAHULUAN

Keamanan kendaraan bermotor khususnya sepeda motor, merupakan aspek penting yang perlu mendapat perhatian serius. Berdasarkan data kepolisian republik Indonesia, kasus pencurian sepeda motor masih menduduki peringkat tinggi dalam daftar tindak kriminal di berbagai wilayah. Menurut Maria Clara kasus pencurian motor yang sering di sebut “curanmor” merupakan salah satu tindak pidana yang paling sering di temui di kalangan masyarakat umum. Pencurian motor ini biasanya di sebabkan oleh beberapa factor, mulai dari himpitan ekonomi

maupun kurang tegasnya penegak hukum yang di terapkan di Indonesia. Sistem kunci konvensional yang masih banyak di gunakan saat ini dinilai kurang efektif dalam mencegah aksi pencurian, karena mudah di bobol dengan teknik-teknik tertentu seperti kunci T ataupun duplikat kunci.[1]

Seiring dengan berkembangnya teknologi digital dan *Internet Of Things* (IoT), peluang untuk mengembangkan sistem keamanan yang lebih cerdas dan responsive semakin terbuka lebar. Salah satu inovasi yang potensial adalah penggunaan *Smart ring* sebagai

penambahan keamanan kendaraan bermotor. *Smart ring* yang terintegrasi dengan sistem *Microcontroller* seperti ESP32 dapat berfungsi sebagai identifikasi akses melalui konektivitas *Bluetooth*. Dengan demikian, motor hanya dapat dinyalakan jika pengguna yang sah berada dalam jangkauan sensor *bluetooth* menggunakan *Smart ring* yang telah di pasangkan. Menurut R. Pratama *Smart ring* Adalah bagian dari perangkat *wearable* yang menggabungkan fitur teknologi modern dengan elemen estetika perhiasan tradisional. Melalui penggabungan teknologi seperti sensor, konektivitas *bluetooth*, dan fitur pemantauan kesehatan.[2]

ESP32 merupakan salah satu mikrokontroler yang populer di lingkup Internet of Things (IoT). ESP32 memiliki keunggulan lain seperti memiliki pin out maupun pin analog yang lebih banyak, penyimpanan yang lebih besar, dan memiliki inti wifi serta *Bluetooth*. Penambahan sistem yang terhubung dengan ESP32 dapat memberikan peringatan instan apabila terjadi upaya akses tanpa izin atau pemutusan koneksi dengan *Smart ring*. Teknologi ini memberikan pendekatan *preventif* yang lebih baik dibandingkan *konvensional*, karena adanya keamanan tambahan selain penguncian mekanis, tetapi juga integrasi sensor, pemrosesan data, dan komunikasi nirkabel.

Penggunaan ESP32 sebagai inti dari sistem ini menjadi pilihan paling ideal karena menurut M Nizam *Microcontroller* ESP32 merupakan *Microcontroller SoC (system on chip)* terpadu dengan dilengkapi WiFi 802.11 b/g/n, *Bluetooth* versi 4.2, dan berbagai *peripheral*. ESP32 adalah *Chip* yang cukup lengkap, terdapat prosesor, penyimpanan dan akses pada GPIO (*General Purpose Input Output*). ESP32 bisa digunakan untuk rangkaian pengganti pada Arduino, ESP32 memiliki kemampuan untuk terkoneksi ke WiFi dan *Bluetooth* secara langsung. Keunggulan ini memungkinkan pengembangan sistem keamanan yang terjangkau, efisien, dan mudah di implementasikan oleh pengguna sepeda motor di kalangan masyarakat umum.[3]

Berdasarkan latar belakang masalah Tingkat kerawanan pencurian sepeda motor semakin meningkat dan sistem pengaman konvensional sering kali tidak mampu memberikan perlindungan yang optimal maka dapat disimpulkan perkembangan teknologi *internet of things (IoT)* dan perangkat mikrokontroler seperti ESP32 membuka peluang untuk menghadirkan sistem keamanan yang lebih baik. Oleh karena itu, pengembangan sistem keamanan kunci motor berbasis *smart ring* dan *alarm* untuk meningkatkannya keamanan dengan ESP32 menjadi inovatif yang relevan dan diperlukan.

1. Metode Penelitian

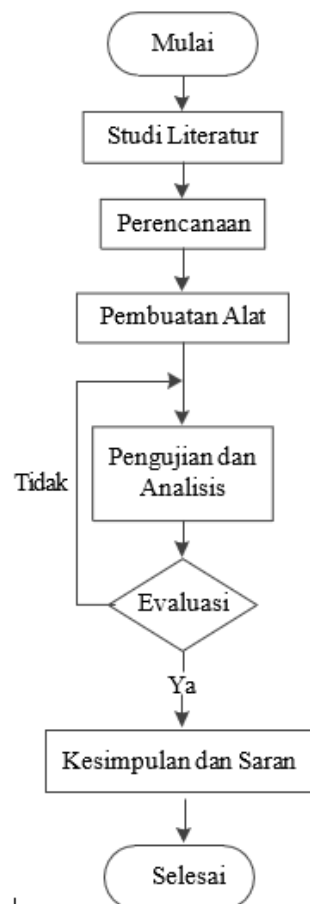
Penelitian ini menggunakan **metode** rekayasa perangkat keras (*hardware engineering*) dengan pendekatan *Research and Development (R&D)*. Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk mengembangkan dan menguji sistem keamanan kunci motor berbasis *smart ring* dan alarm yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32.

Model pengembangan yang digunakan mengadaptasi model *Prototyping*, yang memungkinkan peneliti untuk membangun sistem secara iteratif berdasarkan masukan dan pengujian.

2. Tahapan Penelitian

Pada bagian ini di jelaskan Langkah-langkah penelitian yang akan di lakukan, tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur, di lanjutkan dengan tahap simulasi. Jika simulasi menunjukkan hasil yang sesuai, proses dilanjutkan dengan implementasi perancangan hardware dan software. Selama tahap penelitian, uji coba sistem juga di lakukan, di ikuti dengan analisis hasil dan penarikan Kesimpulan berdasarkan hasil uji coba sesuai dengan

Gambar 1



Gambar 1 Diagram alir penelitian

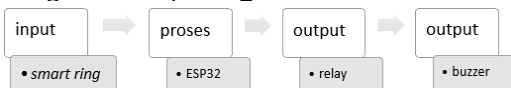
II. METODE PENELITIAN

Konsep Desain Sistem

Melakukan studi literatur yang berkaitan dengan penelitian sebagai rujukan teori dasar, diantaranya mengenai ESP32, *smart ring*, penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini.

3. Perancangan Desain Sistem

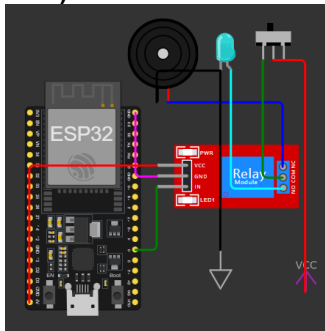
Tahap selanjutnya yaitu perancangan sistem dengan mengumpulkan spesifikasi komponen, software, desain sistem, serta perancangan hardware. Secara umum rancangan sistem akan ditunjukkan pada diagram blok pada **gambar 2**



Gambar 2 Diagram Blok Sistem

berdasarkan **gambar 2** sistem dapat di bagi menjadi 3, yang pertama input, input di dapatkan dari UUID Bluetooth *smart ring*. Yang kedua proses, setelah mendapatkan UUID Bluetooth maka mikrokontroler akan mengecek serta mengkonfirmasi apakah UUID sudah sesuai dengan yang terdaftar, jika benar maka lanjut ke proses output, di proses output yaitu apabila UUID Bluetooth sudah sesuai dengan yang terdaftar maka mikrokontroler menerima perintah untuk mengaktifkan relay.

4. Perancangan Perangkat Keras (Hardware)



Gambar 3 skema rangkaian esp32 dengan relay

Keterangan :

1. ESP32
2. Relay aktif low trigger
3. Buzzer aktif

pada skema rangkaian esp32 dengan relay ini terdapat 1 pin digital yang di gunakan yaitu pin D4 yang digunakan untuk relay sebagai komunikasi dengan ESP32. Kemudian vcc 5v dan groundnya di pasang parallel relay dengan esp32. Komponen di distribusi dari aki yang dari 12v di turunkan menjadi 5v menggunakan step down.

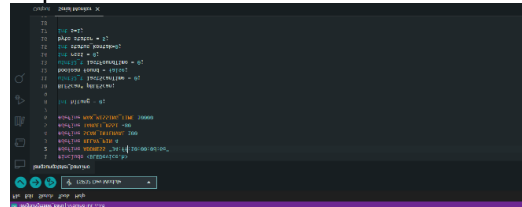
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

bab ini membahas proses uji coba hasil sistem yang telah di buat berdasarkan pembuatan yang telah di jelaskan pada bab sebelumnya, untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem dalam mendeteksi UUID Bluetooth yang telah di daftarkan maupun

menguji tindakan pembobolan. Pengujian yang di lakukan meliputi pengujian perangkat keras (hardware), pembacaan Bluetooth *smart ring* melalui dengan menggunakan sensor Bluetooth esp32, pengujian rangkaian keseluruhan, dan pengujian sistem keamanan terhadap alat.

1. Pengujian Esp32

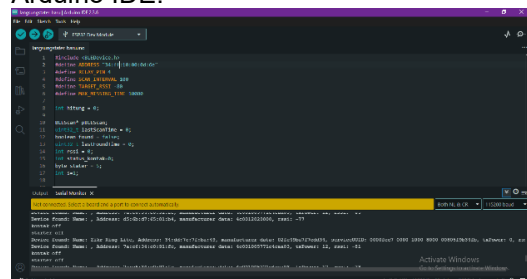
Hasil Pengujian Upload Program Ke Board Esp32



Gambar 4 uji upload program ke ESP32 pada **Gambar 4** Mikrokontroler ESP32 masih berfungsi dengan baik serta dapat mengeksekusi program yang di upload dengan benar.

2. Pengujian Pembacaan Bluetooth

pengujian ini di lakukan untuk mengetahui apakah sensor ESP32 dapat mendeteksi keberadaan perangkat Bluetooth yang berada di area sekitar serta jarak yang bisa di capai. Seperti pada **Gambar 5** Peralatan yang di gunakan yaitu power supply, ESP32, *smart ring*, software Arduino IDE.



Gambar 5 pembacaan UUID Bluetooth sekitar

Hasil pembacaan UUID bluetooth pada sistem menunjukkan bahwa data dapat terbaca secara akurat dapat dilihat melalui serial monitor yang dapat dilihat pada **Gambar 5**, di mana UUID Bluetooth dari smart ring langsung terdeteksi tanpa adanya kesalahan identifikasi.

3. Hasil Pengujian Sistem

melakukan pengujian terhadap ESP32 sebagai otak utama sistem serta sensor pendeteksi UUID Bluetooth. Pengujian ini meliputi seluruh rangkaian sistem yang telah di rancang seperti koneksi dan komunikasi antara esp32 dengan komponen lainnya yang terkoneksi dengan esp32 dan pengujian di lakukan dengan berbagai kondisi lapangan.

Untuk memastikan sistem dapat menjalankan fungsi-fungsi utama dengan andal, beberapa mekanisme teknis

dirancang dan diimplementasikan sebagai berikut:

a. Mekanisme Pembukaan Kunci Motor (Unlock)

Sistem membuka kunci motor secara otomatis ketika ESP32 berhasil mendeteksi smart ring yang memiliki UUID Bluetooth valid. Prosesnya meliputi *Scanning* BLE oleh ESP32 untuk mencari perangkat dengan UUID yang telah terdaftar, Verifikasi UUID di mana ESP32 mencocokkan UUID yang diterima dengan database UUID yang valid, Eksekusi Relay Starter, relay menerima sinyal HIGH dari ESP32 untuk mengaktifkan rangkaian pengapian motor dan menonaktifkan sistem alarm. Dengan mekanisme ini, pembukaan kunci berlangsung cepat, akurat, dan minim risiko pembobolan.

b. Mekanisme Penguncian Kembali (Lock)

Sistem mengunci kembali motor ketika smart ring tidak lagi terdeteksi dalam jangkauan BLE. Mekanismenya meliputi Loss Connection Detection, ESP32 secara berkala memeriksa keberadaan UUID smart ring, Timeout Mechanism, jika dalam interval tertentu UUID tidak ditemukan, sistem menganggap pengguna menjauh dari kendaraan., Relay Off, ESP32 memutuskan arus ke relay sehingga rangkaian pengapian motor kembali terkunci dan alarm Kembali aktif. Metode ini memastikan motor kembali terkunci secara otomatis tanpa perlu interaksi manual dari pengguna.

c. Mekanisme Pengaktifan Alarm

Alarm berfungsi sebagai respons terhadap kondisi tidak normal atau upaya akses ilegal. Mekanisme aktivasi bekerja melalui Deteksi UUID yang terdaftar, jika sistem tidak mendeteksi adanya UUID yang terdaftar maka alarm akan aktif, jika terjadi pembobolan kunci maka alarm berupa buzzer akan berbunyi dengan keras

d. Mekanisme Penonaktifan Alarm

Alarm dinonaktifkan secara otomatis saat terdeteksi adanya UUID Bluetooth yang terdaftar. Mekanisme penonaktifan mencakup Pendeteksian Smart Ring Valid, ketika smart ring dengan UUID sah memasuki jangkauan BLE kembali, alarm nonaktif secara otomatis. Dengan mekanisme ini, alarm dapat dinonaktifkan hanya oleh pemilik yang sah, sehingga keamanan tetap terjaga.

4. Pengujian Jarak Deteksi Uuid Bluetooth

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan data UUID Bluetooth yang akan di daftarkan serta membedakan antara UUID yang sudah terdaftar dan tidak terdaftar. Untuk pengujian kali ini menggunakan metode jarak dengan menggunakan alat meteran. Hasilnya ditunjukkan pada **Tabel 1** dan untuk

perhitungan MAPE di tunjukkan di bawahnya. Dalam rangka pengujian alat penulis telah melakukan pendaftaran pada 1 *smart ring* sebagai kunci untuk mengaktifkan. Berikut Adalah hasil percobaan tersebut :

Tabel 1 pengujian jarak sensor BLE

Uji coba jarak	1	K e 2	K e 3	K e 4	K e 5	K e 6	K e 7	K e 8
10cm	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10cm penghalang	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
20cm	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
20cm dengan penghalang	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
30cm	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
30cm dengan penghalang	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
40cm	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
40cm dengan penghalang	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
50cm	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
50cm dengan penghalang	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
60cm	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
60cm dengan penghalang	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓
70cm	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
70cm dengan penghalang	X	✓	X	✓	✓	X	✓	X
80cm	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
80cm dengan penghalang	✓	X	X	✓	X	✓	X	X
90cm	✓	✓	X	✓	✓	✓	X	✓
100cm	✓	X	✓	✓	X	X	✓	✓
110cm	X	X	X	X	X	X	X	X



Gambar 6 pengukuran jarak deteksi UUID Bluetooth 30Cm

Xb = jarak sensor BLE
X = jarak alat ukur (meteran)

Tabel 2 pengujian jarak sensor BLE

Xb	X	$\left \frac{X-Xb}{X} \right \times 100\%$
10	10,1	0,99
20	19,9	0,50
30	30,2	0,66
40	39,5	1,27
50	49,8	0,40
60	60,2	0,33
70	69,9	0,14
80	79,7	0,38
90	89,8	0,22
100	99,5	0,50
110	119,5	7,95
MAPE		1,21%

Berdasarkan hasil perhitungan MAPE, sensor BLE memiliki tingkat error yang rendah pada jarak 10 cm hingga 100 cm dengan rata-rata error di bawah 2%, sehingga dapat dikatakan pembacaan sensor cukup akurat. Namun pada jarak 110 cm nilai error meningkat menjadi 7,95%, yang menunjukkan bahwa akurasi sensor mulai menurun pada jarak yang lebih jauh.

Berdasarkan hasil pengujian pada **Tabel 1**, dapat diketahui bahwa pengembangan sistem keamanan kunci motor berbasis *smart ring* dan alarm untuk meningkatkan keamanan dengan esp32 memiliki tingkat keberhasilan deteksi yang sangat baik pada jarak dekat hingga menengah. Pada pengujian tanpa penghalang, jarak 10 cm sampai 70 cm menunjukkan seluruh percobaan berhasil dilakukan dengan tingkat keberhasilan 100% dan nilai error MAPE sebesar 0%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara stabil dan konsisten pada rentang jarak tersebut tanpa mengalami gangguan komunikasi.

Pada jarak 80 cm mulai terjadi penurunan performa sistem dengan tingkat keberhasilan sebesar 87,5% dan nilai error sebesar 12,5%.

Penurunan ini menunjukkan bahwa sinyal Bluetooth mulai mengalami pelemahan sehingga tidak seluruh percobaan berhasil dilakukan. Selanjutnya pada jarak 90 cm tingkat keberhasilan turun menjadi 75% dengan nilai error 25%, sedangkan pada jarak 100 cm tingkat keberhasilan hanya mencapai 62,5% dengan nilai error 37,5%. Pada jarak 110 cm seluruh percobaan gagal dilakukan sehingga tingkat keberhasilan menjadi 0% dan nilai error mencapai 100%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem sudah tidak mampu melakukan komunikasi Bluetooth pada jarak tersebut.

Selain pengujian tanpa penghalang, dilakukan juga pengujian dengan penghalang untuk mengetahui pengaruh hambatan terhadap kualitas sinyal BLE. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada jarak 10 cm hingga 50 cm sistem masih mampu bekerja dengan sangat baik meskipun terdapat penghalang, dengan tingkat keberhasilan tetap mencapai 100% dan nilai error 0%. Hal ini menunjukkan bahwa pada jarak dekat sinyal Bluetooth masih cukup kuat untuk menembus hambatan.

Namun pada jarak 60 cm dengan penghalang mulai ditemukan satu kali kegagalan komunikasi sehingga tingkat keberhasilan menurun menjadi 87,5% dengan nilai error 12,5%. Penurunan performa semakin terlihat pada jarak 70 cm dengan penghalang, dimana tingkat keberhasilan hanya mencapai 50% dan nilai error meningkat menjadi 50%. Kondisi ini menunjukkan bahwa penghalang sangat mempengaruhi kestabilan sinyal Bluetooth pada jarak yang lebih jauh.

Pada jarak 80 cm dengan penghalang, sistem hanya mampu mencapai tingkat keberhasilan sebesar 37,5% dengan nilai error sebesar 62,5%. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi antara jarak yang semakin jauh dan adanya hambatan menyebabkan sinyal BLE menjadi sangat lemah sehingga komunikasi tidak dapat berlangsung secara stabil.

Berdasarkan hasil perhitungan MAPE, dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak antara *smart ring* dan sensor BLE, maka nilai error semakin meningkat sehingga akurasi sistem mengalami penurunan. Selain itu, keberadaan penghalang juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap performa sistem karena dapat melemahkan sinyal Bluetooth yang diterima oleh ESP32.

Dengan demikian, sistem keamanan berbasis *smart ring* dan ESP32 dapat bekerja secara optimal pada jarak

efektif 10 cm hingga 70 cm tanpa penghalang. Sedangkan pada kondisi terdapat penghalang, performa terbaik sistem berada pada jarak 10 cm hingga 50 cm. Hasil pengujian ini dapat dijadikan acuan dalam menentukan batas penggunaan smart ring agar sistem keamanan tetap bekerja secara stabil, akurat, dan andal pada penggunaan sehari-hari.

5. Pengujian Getaran, Suhu, Dan Kelembaban

Pengujian lingkungan di lakukan untuk memastikan bahwa sistem keamanan dapat beroperasi secara andal dalam kondisi nyata yang umum di alami sepeda motor, termasuk getaran selama berkendara, perubahan suhu lingkungan, serta kelembaban udara yang tinggi. Berikut Adalah hasil dari percobaan beberapa kondisi :

Tabel 3 tabel pengujian getaran

N o	Jenis Pengujian	Kondisi Getaran	Prosedur Pengujian	Parameter Diamati	Hasil pengujian
1	Getaran Ringan	Motor idle / permukaan jalan halus	Tempat kan perangkat pada motor idle selama 5 menit	Stabilitas koneksi BLE, alarm	Sistem stabil, alarm tidak aktif
2	Getaran Sedang	Jalan bergelombang	Berkendara ± 20 km/jam di jalan bergelombang	Status ESP32, respon Smart ring	Tidak terjadi restart, pemba caan ring normal
3	Getaran Berat	Jalan berlubang / speed bump	Lewati lintasan tidak rata selama 5 menit	Trigger sensor getar, false alarm	koneksi tetap stabil
4	Getaran Berkelanjutan	Simulasi getaran mesin menit 10–15	Perangkat ditempel kan ke mesin motor saat hidup	Suhu ESP32, kestabilan BLE	Sistem tetap respon sif & tidak overheat
5	Guncangan Ekstrem	Droptest ringan (10–20 cm) pada modul sensor	Jatuhkan modul sensor untuk uji ketahanan mekanik	Alarm, fisik modul , koneksi	Modul tetap utuh & berfungsi normal

Pada kondisi getaran ringan, sedang, dan berat, sistem menunjukkan performa yang sangat stabil dengan tingkat keberhasilan mencapai 100% dan nilai error sebesar 0%. Hal ini menandakan bahwa sistem mampu bekerja

secara optimal tanpa adanya gangguan pada kondisi operasional normal.

Pada kondisi getaran berkelanjutan, terjadi sedikit penurunan performa dengan tingkat keberhasilan sebesar 90% dan error sebesar 10%. Sementara itu, pada kondisi guncangan ekstrem, tingkat keberhasilan menurun menjadi 80% dengan error sebesar 20%. Penurunan ini menunjukkan bahwa faktor getaran tinggi dan guncangan dapat mempengaruhi kinerja sistem, meskipun tidak menyebabkan kegagalan total.

Secara keseluruhan, sistem keamanan berbasis *smart ring* dan ESP32 tetap menunjukkan kinerja yang stabil dan andal dalam berbagai kondisi getaran. Nilai MAPE yang rendah mengindikasikan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan layak untuk diterapkan pada kendaraan bermotor dalam kondisi penggunaan sehari-hari, termasuk pada lingkungan dengan tingkat getaran yang bervariasi.



Gambar 7 pengujian getaran saat mesin motor idle

Berdasarkan **Tabel 3** hasil pengujian getaran dan guncangan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem keamanan kunci motor berbasis smart ring dan alarm menggunakan ESP32 menunjukkan tingkat keandalan dan stabilitas yang baik pada berbagai kondisi operasional. Pada pengujian getaran ringan hingga sedang, sistem mampu mempertahankan kestabilan koneksi Bluetooth Low Energy (BLE) serta respon autentikasi smart ring tanpa terjadi gangguan maupun restart pada ESP32.

Pada kondisi getaran berat dan berkelanjutan, sistem tetap bekerja secara normal dengan koneksi BLE yang stabil, serta suhu kerja ESP32 berada dalam batas aman tanpa indikasi overheat. Hal ini menunjukkan bahwa perangkat memiliki ketahanan yang memadai terhadap getaran mesin dan kondisi jalan yang tidak rata.

Selain itu, hasil pengujian guncangan ekstrem melalui *droptest* ringan menunjukkan bahwa modul sensor tetap utuh secara fisik dan berfungsi dengan baik, ditandai dengan alarm yang tetap aktif sesuai kondisi dan koneksi sistem yang tidak terganggu.

Secara keseluruhan, pengujian ini membuktikan bahwa sistem yang dikembangkan layak diterapkan pada kendaraan bermotor, karena mampu beroperasi secara andal, stabil, dan tahan terhadap getaran serta guncangan yang umum terjadi pada penggunaan sehari-hari.

Modul di tempatkan dalam kondisi suhu berbeda untuk mengetahui pengaruh perubahan suhu ekstrim terhadap performa BLE, mikrokontroler. Suhu diukur menggunakan peralatan thermometer digital.

Tabel 4 tabel pengujian suhu

N o	Jenis Pengujian	Suhu	Prosedur	Parameter Diamati	Hasil pengujian
1	Suhu Rendah	15°C (ruangan ber-AC)	Letakkan sistem 15 menit di ruangan bersuhu rendah	Latency BLE, respon unlock	Sistem masih dapat membaca ring normal
2	Suhu Sedang (normal)	28°C	Operasikan perangkat pada suhu ruangan standar	Normalisasi fungsi dasar	Semua fungsi bekerja tanpa anomali
3	Suhu Tinggi	52°C (dekat mesin motor)	Tempelkan modul dekat blok mesin 15 menit	Konsumsi daya, reboot, error	ESP32 tetap stabil tanpa overheating
4	Suhu Sangat Tinggi	66°C (simulasi terik matahari pada box motor)	Perangkat diletakkan dalam box tertutup 10 menit	Thermal throttling, alarm, koneksi BLE	Sistem tetap bekerja, penurunan performa minimal

Pada suhu rendah (15°C) dan suhu normal (28°C), sistem menunjukkan performa optimal dengan tingkat keberhasilan 100% dan tanpa error. Hal ini menandakan bahwa sistem bekerja sangat stabil pada kondisi lingkungan ideal.

Pada suhu tinggi (52°C), terjadi sedikit penurunan performa dengan tingkat keberhasilan sebesar 90% dan error sebesar 10%. Sedangkan pada suhu sangat tinggi (66°C), tingkat keberhasilan menurun menjadi 80% dengan error sebesar 20%. Penurunan ini disebabkan oleh pengaruh suhu ekstrem terhadap kinerja komponen elektronik seperti modul BLE dan mikrokontroler.

Meskipun demikian, sistem tetap mampu beroperasi dengan baik tanpa mengalami kegagalan total seperti reboot, kehilangan koneksi, atau kerusakan perangkat. Secara keseluruhan, sistem menunjukkan ketahanan termal yang baik dan layak digunakan pada kendaraan bermotor yang memiliki variasi suhu lingkungan yang tinggi.



Gambar 8 pengujian suhu modul di dekat blok mesin

Berdasarkan hasil pada **Tabel 4** pengujian suhu yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem keamanan kunci motor berbasis smart ring dan alarm menggunakan ESP32 memiliki ketahanan termal yang baik dan mampu beroperasi secara andal pada berbagai rentang suhu lingkungan.

Pada kondisi suhu rendah ($\pm 15^\circ\text{C}$), sistem tetap mampu melakukan pembacaan smart ring secara normal dengan latency BLE yang masih dalam batas wajar, sehingga fungsi *unlock* tidak mengalami kendala. Pada suhu sedang atau suhu operasi normal ($\pm 28^\circ\text{C}$), seluruh fungsi dasar sistem berjalan optimal tanpa adanya anomali, menandakan kondisi kerja paling ideal bagi perangkat.

Pada pengujian suhu tinggi ($\pm 52^\circ\text{C}$) hingga suhu sangat tinggi ($\pm 66^\circ\text{C}$), yang mensimulasikan kondisi nyata di sekitar mesin motor dan paparan panas matahari, ESP32 tetap menunjukkan stabilitas sistem yang baik tanpa terjadi reboot, error, maupun overheating. Meskipun terdapat penurunan performa yang sangat minimal pada suhu ekstrem, sistem tetap mampu menjaga koneksi BLE, mengaktifkan alarm, serta menjalankan fungsi keamanan sesuai rancangan.

Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan layak digunakan pada lingkungan kendaraan bermotor, karena memiliki daya tahan terhadap variasi suhu ekstrem dan tetap menjaga keandalan fungsi keamanan dalam kondisi operasional sehari-hari.

Kelembaban tinggi umum terjadi saat hujan atau kabut, pengujian dilakukan untuk mengetahui ketahanan sistem

terhadap embun, udara lembab, dan ruang tertutup seperti jok motor. Pada pengujian ini kelembaban udara di ukur menggunakan alat hygrometer digital.

Tabel 5 tabel pengujian kelembaban

N o	Jenis Pengujian	Tingkat Kelembaban	Prosedur	Parameter Diamati	Hasil yang Diharapkan
1	Kelembaban Normal	55% RH	Uji di ruangan normal	Fungsi dasar perangkat	Semua fungsi berjalan normal
2	Kelembaban Tinggi	81% RH	Simulasikan kondisi lembab (uap air) selama 10 menit	Kondisi sensor, BLE stability	Tidak ada short, koneksi stabil
3	Kelembaban Ekstrem	93% RH	Tempatkan modul pada box/jok tertutup	Kondensasi, alarm	Sistem tetap berfungsi tanpa kesalahan pembacaan
4	Embun/Hujan Ringan (tanpa kontak langsung air)	Kabut embun	Letakkan modul dekat sumber uap/embun	Sensor BLE & alarm	Tidak terjadi false trigger

Pada kondisi kelembaban normal (55% RH), sistem bekerja secara optimal dengan tingkat keberhasilan 100% tanpa error. Pada kondisi kelembaban tinggi (81% RH) dan embun/hujan ringan, sistem masih menunjukkan performa yang baik dengan tingkat keberhasilan sebesar 90% dan error sebesar 10%. Sementara itu, pada kondisi kelembaban ekstrem (93% RH), terjadi penurunan performa dengan tingkat keberhasilan sebesar 80% dan error sebesar 20%.

Penurunan performa ini kemungkinan dipengaruhi oleh adanya uap air dan kondensasi yang dapat memengaruhi kestabilan sensor dan komunikasi BLE. Meskipun demikian, sistem tetap mampu beroperasi tanpa mengalami kegagalan total, seperti *short circuit* atau kesalahan pembacaan yang signifikan.

Secara keseluruhan, sistem keamanan berbasis *smart ring* dan ESP32 menunjukkan ketahanan yang baik terhadap variasi kelembaban, sehingga layak digunakan pada kendaraan bermotor yang beroperasi di

lingkungan luar ruang dengan tingkat kelembaban yang tinggi.



Gambar 9 pengujian kelembaban di dalam jok Motor

Berdasarkan **Tabel 5** pengujian terhadap berbagai tingkat kelembaban, dapat disimpulkan bahwa sistem keamanan kunci motor berbasis smart ring dan alarm menggunakan ESP32 memiliki ketahanan yang baik terhadap kondisi lingkungan lembab.

Pada kondisi kelembaban normal ($\pm 55\%$ RH), seluruh fungsi dasar perangkat berjalan dengan normal tanpa gangguan, menunjukkan bahwa sistem stabil untuk penggunaan harian. Pada pengujian kelembaban tinggi ($\pm 81\%$ RH) dengan simulasi uap air, tidak ditemukan indikasi *short circuit*, gangguan sensor, maupun ketidakstabilan koneksi BLE, sehingga komunikasi dan autentikasi smart ring tetap andal.

Selanjutnya, pada kondisi kelembaban ekstrem ($\pm 93\%$ RH) yang mensimulasikan lingkungan tertutup seperti jok atau box motor, sistem tetap dapat berfungsi dengan baik tanpa kesalahan pembacaan maupun gangguan pada alarm, serta tidak terjadi dampak signifikan akibat kondensasi. Pada pengujian embun atau hujan ringan tanpa kontak langsung dengan air, sistem juga tidak mengalami *false trigger* pada alarm dan koneksi BLE tetap stabil.

Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan cukup tahan terhadap variasi kelembaban lingkungan, termasuk kondisi lembab ekstrem yang umum terjadi pada kendaraan bermotor, sehingga layak diterapkan untuk penggunaan jangka panjang di lingkungan luar ruang (outdoor).

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem sensor BLE. Ketika menghadapi berbagai kondisi lapangan. Penting untuk memahami sejauh mana sistem tersebut dapat mendeteksi UUID *smart ring* dalam berbagai kondisi lapangan. Hasil pengujian ini membantu mengidentifikasi kelemahan sistem serta menentukan Langkah-Langkah untuk meningkatkan efisiensi dalam berbagai kondisi lingkungan.

Berdasarkan data yang di peroleh, Ketika modul dalam keadaan suhu tinggi performa mengalami penurunan akan tetapi masih berfungsi secara normal.

6. Pengujian Sistem Keamanan

pengujian di lakukan untuk beberapa kondisi yang bervariasi dengan hasil sebagai berikut

Tabel 6 tabel pengujian system

N O	bluetooth	kontak	rela y	alar m	Keterangan
1	sah	aktif	aktif	mati	Motor dapat dinyalakan
2	Tidak sah	aktif	mati	aktif	Alarm berbunyi motor tidak menyala
3	Sah	Mati	Aktif	Mati	Alarm mati, motor tidak menyala
4	Tidak sah	mati	mati	aktif	Alarm menyala motor tidak menyala

Dari hasil pengujian pada **Tabel 6** di atas dapat di simpulkan bahwa sistem mampu mentetapi UUID Bluetooth dari *smart ring* dengan sangat akurat. Proses autentikasi berjalan otomatis sehingga hanya *smart ring* yang terdaftar yang dapat membuka akses kendaraan. *Smart ring* bekerja sebagai kunci digital tanpa sentuhan (*contactless*) yang berfungsi sebagai pengaman tambahan. Dengan demikian, kunci kontak motor dan *smart ring* saling melengkapi, jika salah satu tidak tersedia, maka motor tidak dapat dinyalakan. Mekanisme ini meningkatkan kenyamanan serta memberikan lapisan keamanan tambahan bagi pemilik kendaraan bermotor.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan mengenai pengembangan sistem keamanan kunci motor berbasis *smart ring* dan alarm menggunakan ESP32, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

Berdasarkan seluruh rangkaian pengujian yang telah dilakukan, meliputi pengujian jarak deteksi Bluetooth (BLE), getaran, suhu, dan kelembaban, dapat disimpulkan bahwa sistem keamanan kunci motor berbasis *smart ring* dan mikrokontroler ESP32 memiliki tingkat kinerja yang baik, stabil, serta layak untuk diterapkan pada kondisi penggunaan nyata.

Pada pengujian jarak, sistem menunjukkan performa optimal pada rentang 10 cm hingga 70 cm dengan tingkat keberhasilan mencapai 100% dan tanpa error. Pada jarak di atas 80 cm, performa mulai menurun yang ditandai dengan

meningkatnya nilai hingga sistem tidak dapat berfungsi pada jarak 110 cm. Hal ini menunjukkan bahwa jarak efektif penggunaan sistem berada pada rentang dekat hingga menengah.

Pada pengujian getaran, sistem mampu mempertahankan kestabilan dengan sangat baik. Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai sebesar 6%, yang menunjukkan bahwa sistem tetap andal pada berbagai kondisi getaran, mulai dari ringan hingga guncangan ekstrem. Gangguan yang terjadi bersifat minor dan tidak mempengaruhi fungsi utama sistem secara signifikan.

Pada pengujian suhu, sistem menunjukkan ketahanan termal yang baik dengan nilai sebesar 7,5%. Sistem tetap beroperasi secara stabil pada suhu rendah hingga suhu sangat tinggi ($\pm 66^{\circ}\text{C}$), meskipun terdapat sedikit penurunan performa pada kondisi suhu ekstrem.

Selanjutnya, pada pengujian kelembaban, diperoleh nilai sebesar 10%, yang menunjukkan bahwa sistem masih berada dalam kategori akurasi baik. Sistem tetap mampu bekerja dengan stabil pada kondisi kelembaban normal hingga ekstrem, tanpa mengalami gangguan serius seperti kesalahan pembacaan atau kegagalan koneksi.

Secara keseluruhan, berdasarkan nilai dari seluruh pengujian yang berada pada rentang 0% hingga 15,91%, dapat disimpulkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang baik dan performa yang andal. Sistem mampu beroperasi dengan stabil dalam berbagai kondisi lingkungan yang umum terjadi pada kendaraan bermotor, baik dari segi jarak komunikasi, getaran, suhu, maupun kelembaban.

Dengan demikian, sistem keamanan yang dikembangkan dinyatakan layak untuk diterapkan karena memenuhi aspek keandalan, kestabilan, dan ketahanan terhadap faktor lingkungan, serta mampu menjaga fungsi keamanan secara optimal dalam penggunaan sehari-hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Maria Clara Elfrisma Manalu, Paiman Nadeak, Ray Dinho Simatupang, Parlaungan Gabriel Siahaan, dan Dewi Pika Lumban Batu, "Peran Aparat Kepolisian dalam Mengatasi Pencurian Sepeda Motor: Evaluasi Efektivitas Penegakan Hukum," *Mimb. Adm. FISIP UNTAG Semarang*, vol. 20,

- no. 2, hal. 375–387, 2023, doi: 10.56444/mia.v20i2.1184.
- [2] R. S. Pratama, I. Ramadhan, A. Wardhana, dan T. N. Abdillah, "Analisis Literatur tentang Penggunaan Wearable IoT (Smart Watch, Smart Clothes, Smart Ring) untuk Optimalisasi Aktivitas Olahraga," *J. Penelit. Inov.*, vol. 5, no. 2, hal. 1857–1864, 2025, doi: 10.54082/jupin.1551.
- [3] M. N. Nizam, Haris Yuana, dan Zunita Wulansari, "Mikrokontroler Esp 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 6, no. 2, hal. 767–772, 2022, doi: 10.36040/jati.v6i2.5713.
- [4] S. P. Agustanti, H. Hartini, dan D. A. Nugraha, "Perancangan Sistem Keamanan Sepeda Motor Berbasis Rfid Mikrokontroler Esp8266," *Jusikom J. Sist. Komput. Musirawas*, vol. 8, no. 1, hal. 19–29, 2023, doi: 10.32767/jusikom.v8i1.2015.
- [5] R. Ramli dan B. Budi, "Rancang Bangun Sistem Keamanan Kunci Kontak," *Jikstra*, vol. 4, no. 02, hal. 50–57, 2022.
- [6] M. Faruq, E. Badi, T. Alawiy, dan A. Habibi, "Jari Pada Sepeda Motor Menggunakan," 2022.
- [7] Mukhlison Mukhlison dan Andiko Dodik Nurjaya, "Sistem Keamanan Sepeda Motor Integerasi Sidik Jari dan Pelacakan GPS Tracker dengan Kontrol Jarak Jauh Berbasis ESP 32 di Sepeda Motor," *Jural Ris. Rumpun Ilmu Tek.*, vol. 4, no. 1, hal. 287–303, 2025, doi: 10.55606/jurritek.v4i1.4878.
- [8] M. N. Nizam, Haris Yuana, dan Zunita Wulansari, "Mikrokontroler Esp 32 Sebagai Alat Nizam, Muhammad Nizam, Haris Yuana, and Zunita Wulansari. 2022. 'Mikrokontroler Esp 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web.' *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)* 6(2):767–72. doi: 10.36040/jati.v6i2.5713.Mon," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 6, no. 2, hal. 767–772, 2022.
- [9] A. E. A. Hmadin, A. Habibi, dan E. S. Wirateruna, "Perancangan Kulkas Tenaga Surya dengan Pengendali Cerdas ESP32 untuk Efisiensi Pendinginan di Area Terpencil," *Sci. Electro*, vol. 19, no. 1, hal. 7–11, 2025.
- [10] N. K. R. Hammam dan N. H. Isnianto, "Analisis Performa Bluetooth Pada Sistem Device Reminder Berdasarkan Pengukuran Jarak Dan Received Signal Strength Indicator," *J. Internet Softw. Eng.*, vol. 2, no. 1, hal. 1–2, 2021.
- [11] A. Aprilyana dan K. Dewi, "Jurnal Manajemen dan Teknologi Informasi (JMTI) PENGGUNAAN SENSOR SUHU DHT 11 BUZZER DAN LAMPU LED SEBAGAI PEMANTAU SUHU RUANGAN," vol. 14, no. 1, hal. 10–18, 2024.
- [12] A. A. Handaru *et al.*, "Rancang Bangun Alat Pendeteksi Hujan Otomatis Menggunakan Modul GSM Berbasis Mikrokontroler Atmega 328P," *Ris. Unisma*, hal. 25–30, 2019.
- [13] Daniel Alexander Octavianus Turang, "174003-ID-pengembangan-sistem-relay-pengendalian-d," *Semin. Nas. Inform. 2015 (semnasIF 2015) 831 '9HWHUDQ' <RJJDNDUWD 14 Novemb. 2015*, vol. 2015, no. November, hal. 1–11, 2015.
- [14] S. S. Informationis, S. Focus, dan M. I. Fusion, "刘准钊 1*, 潘泉 1, 韩德强 2 1.," vol. 16, no. 2, hal. 1781–1782, 2020.