

ANALISIS SISTEM MONITORING TEKANAN BAN REAL TIME BERBASIS ESP32 DENGAN SENSOR TPMS PADA KENDARAAN BERMOTOR RODA DUA

Albert Valentino Mata Rohi^{1*}, Petrus Katemba², Semlinda Juszandri Bulan³

^{1,2,3} Prodi Teknik Informatika STIKOM Uyelindo Kupang

^{1*}matarohivalentino@gmail.com, ²petruskatemba@gmail.com, ³semlinda@yahoo.com

DOI: <https://doi.org/10.46880/mtk.v12i2.6083>

ABSTRACT

Tire pressure is a critical factor affecting vehicle safety, riding comfort, fuel efficiency, and tire lifespan. Conventional tire pressure inspection is generally performed manually, making continuous monitoring difficult. This study aims to develop a real-time Tire Pressure Monitoring System (TPMS) based on the ESP32 microcontroller integrated with the Blynk Internet of Things (IoT) platform for monitoring tire pressure and temperature on two-wheeled motor vehicles. The system was developed using the prototype method, including requirement analysis, hardware and software design, implementation, and performance evaluation. Functional testing was conducted by comparing TPMS pressure readings with a standard tire pressure gauge and measuring the transmission latency from the ESP32 to the Blynk application under various operating conditions. The experimental results show that the proposed system achieved an average front tire pressure measurement error of 1.08% while rear wheel error averaged at 0.44% and an average data transmission delay of 0.431 millisecond, indicating that the system provides accurate measurements and fast real-time communication. Furthermore, the developed system successfully monitored tire pressure and temperature continuously, enabling early detection of abnormal tire conditions and supporting preventive maintenance. These findings demonstrate that the proposed IoT-based TPMS offers a practical, low-cost, and reliable solution for improving motorcycle safety through continuous tire condition monitoring.

Keywords: *Tire Pressure Monitoring System (TPMS), ESP32, Internet of Things (IoT), Real Time Monitoring*

I. PENDAHULUAN

Tingginya angka kecelakaan yang melibatkan sepeda motor di Indonesia menjadi landasan utama urgensi penelitian ini. Kondisi riil di lapangan menunjukkan bahwa salah satu faktor teknis pemicu kecelakaan adalah tekanan ban yang tidak sesuai, yang secara langsung dapat mengurangi daya cengkram dan memperburuk efisiensi bahan bakar [1]. Saat ini, metode yang paling umum digunakan untuk memantau tekanan ban adalah pengecekan manual secara berkala. Namun, praktik ini memiliki kelemahan signifikan karena tidak mampu menyediakan data secara real-time dan terbukti tidak efisien serta rentan terhadap human error [2]. Meskipun teknologi canggih seperti *Tire Pressure Monitoring System (TPMS)* komersial sudah ada, harganya yang mahal dan instalasinya yang rumit membuatnya tidak terjangkau bagi mayoritas pengendara sepeda motor di Indonesia.

Setiap pengendara seharusnya memiliki akses terhadap sistem pemantauan tekanan ban yang dapat diandalkan, mampu memberikan peringatan dini secara akurat dan real-time jika terjadi anomali. Sistem seperti ini idealnya harus bersifat ekonomis dan mudah diakses, sehingga dapat diadopsi secara luas untuk meningkatkan standar keselamatan berkendara secara menyeluruh. Dari perbedaan antara kondisi riil (pemantauan manual yang tidak efektif dan TPMS mahal yang tidak terjangkau) dengan kondisi ideal (sistem pemantauan yang efektif dan terjangkau bagi semua), muncullah sebuah kesenjangan (gap) yang signifikan. Gap tersebut adalah tidak adanya solusi TPMS yang akurat, real-time, dan ekonomis yang dirancang khusus untuk pasar sepeda motor.

Untuk mengisi kesenjangan tersebut, penelitian ini berfokus pada analisis sebuah sistem monitoring alternatif yang lebih efisien dan terjangkau. Solusi yang

diusulkan adalah sistem yang memanfaatkan mikrokontroler ESP32, sebuah komponen yang ideal untuk aplikasi Internet of Things (IoT) karena kemampuannya memproses dan mengirimkan data secara nirkabel. Dengan mengintegrasikan ESP32 dan sensor TPMS, sistem ini berpotensi besar menjadi solusi keselamatan yang akurat dan ekonomis. Penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa sistem berbasis komponen serupa mampu mencapai tingkat akurasi yang sangat tinggi hingga 99,44% [2], yang menegaskan kelayakan teknologi ini untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai jawaban atas gap yang ada dan secara signifikan mengurangi risiko kecelakaan.

Penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa sistem berbasis komponen serupa yang dirakit secara mandiri untuk kendaraan bus mampu mencapai tingkat akurasi yang sangat tinggi hingga 99,44% [2]. Selain itu, kelayakan penerapan pada kendaraan roda dua juga telah didemonstrasikan [3], yang secara khusus mengembangkan sistem monitoring portabel untuk sepeda motor menggunakan ESP32 dan aplikasi smartphone, dengan hasil pengujian yang menunjukkan persentase kesalahan sistem hanya 2,7%. Keberhasilan ganda ini akurasi tinggi pada sistem rakitan dan penerapan spesifik pada sepeda motor menegaskan kelayakan teknologi ESP32 untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai jawaban atas kesenjangan yang ada dan secara signifikan mengurangi risiko kecelakaan. [3], yang secara khusus mengembangkan sistem monitoring portabel untuk sepeda motor menggunakan ESP32 dan aplikasi smartphone, dengan hasil pengujian yang menunjukkan persentase kesalahan sistem hanya 2,7%.

Keberhasilan ganda ini akurasi tinggi pada sistem rakitan dan penerapan spesifik pada sepeda motor menegaskan kelayakan teknologi ESP32 untuk

dikembangkan lebih lanjut sebagai jawaban atas kesenjangan yang ada dan secara signifikan mengurangi risiko kecelakaan.

Dengan demikian penulis melakukan penelitian ini dengan mengintegrasikan Sensor TPMS dengan ESP32 yang terhubung ke Blynk untuk monitoring suhu dan tekanan ban secara real-time. Melalui pengintegrasian ini diharapkan dapat mempermudah fleksibilitas monitoring suhu dan tekanan ban dari sensor TPMS.

II. KAJIAN TERKAIT

Penelitian Terdahulu

Kajian mengenai sistem pemantauan tekanan ban (TPMS) berbasis *IoT* telah berkembang melalui beberapa jalur penelitian yang berbeda, berfokus pada akurasi sensor, arsitektur sistem, dan *platform* aplikasi. Tinjauan ini memetakan penelitian terdahulu untuk mengidentifikasi celah penelitian (*research gap*) yang spesifik.

Penelitian berjudul "Implementasi Google Internet of Things Core pada Monitoring Volume Ban Angin Mobil". Penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem monitoring tekanan udara pada kendaraan berbasis *website* guna memantau dan menjaga stabilitas tekanan udara di dalam ban secara *real-time*. Metode yang digunakan adalah perancangan perangkat keras dan lunak yang mengintegrasikan mikrokontroler ESP32, sensor tekanan MPX5700, dan *platform* Google *IoT* Core. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat bekerja dengan cukup baik dalam mengukur volume angin, dan data berhasil dikirim serta ditampilkan pada aplikasi *website*. Meskipun membuktikan fleksibilitas ESP32, arsitektur ini lebih berorientasi pada pengumpulan data terpusat daripada notifikasi langsung ke *smartphone* pengendara[4].

Penelitian berjudul "Penerapan Teknologi *IoT* pada Sistem Monitoring Tekanan Ban Mobil yang Berjalan". Penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem monitoring tekanan ban mobil berjalan yang datanya dapat dipantau terus-menerus dari jarak jauh oleh pengendara atau pihak lain. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan menangkap data langsung dari sensor TPMS menggunakan RTL-SDR dan Raspberry Pi, yang kemudian dikirimkan ke *cloud* server melalui modul SIM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem berhasil memantau perubahan tekanan ban secara baik dari jarak jauh. Namun, penggunaan Raspberry Pi menjadikan sistem ini relatif mahal, boros daya, dan berdimensi fisik tidak praktis untuk diadaptasi ke sepeda motor[5].

Penelitian berjudul "Sistem Keamanan Sepeda Motor Menggunakan Aplikasi *Smartphone* Android Berbasis *IoT* Menggunakan Modul ESP32 CAM dan Modul ESP32". Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun serta menguji sistem keamanan pada sepeda motor yang memberikan solusi untuk meningkatkan keamanan sepeda motor dengan penggunaan *smartphone* Android. Metode yang digunakan adalah rekayasa teknik yang meliputi identifikasi masalah, perancangan sistem perangkat keras dan lunak, serta melakukan uji coba sistem. Hasil

penelitian menunjukkan bahwa baterai lithium-ion yang diparalel sebanyak 5 buah mampu untuk mensuplai tegangan kepada sistem ESP32 secara stabil selama lebih dari 7 jam[6].

Monitoring Tekanan Ban Sepeda Motor Portable Berbasis Android. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring tekanan ban motor portabel menggunakan perangkat *smartphone* melalui komunikasi Bluetooth guna meningkatkan keselamatan berkendara. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan merancang perangkat keras yang mengintegrasikan sensor MD-PS002, modul penguat isyarat HX-711, dan ESP32. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik dalam memberikan peringatan tekanan ban tidak standar pada aplikasi dengan persentase kesalahan hanya 2,7%. Meskipun sangat relevan, studi ini mencatat kelemahan operasional, yakni adanya delay dalam pengiriman data serta jangkauan maksimal Bluetooth yang terbatas pada 10 meter [3].

Penelitian berjudul "*Mon-Tire: Portable Tire Pressure Monitoring System*". Penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem monitoring tekanan ban kendaraan roda dua yang terhubung pada *smartphone* yang dapat memberikan peringatan kepada pengguna ketika tekanan ban kendaraan tidak sesuai standar. Metode yang digunakan adalah perancangan sistem elektronis portabel yang mengintegrasikan sensor tekanan udara MD-PS002, modul pengkondisi HX711, dan mikrokontroler ESP32 melalui komunikasi Bluetooth. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini telah membuktikan kemampuannya dalam mengukur tekanan ban dengan nilai kesalahan rata-rata sebesar 2,7% jika dibandingkan dengan alat ukur standar [7].

Penelitian berjudul "Pengembangan Sistem Pendeteksi Tekanan Ban Berbasis *Internet of Things* untuk Otomatisasi Inspeksi Kendaraan". Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pendeteksi tekanan udara ban bus berbasis *Internet of Things (IoT)* guna mengatasi inefisiensi pemeriksaan manual dan memenuhi standar inspeksi. Metode yang digunakan adalah *Research and Development (R&D)* dengan memanfaatkan sensor *pressure* transmitter terintegrasi mikrokontroler ESP32. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikalibrasi mampu mencapai tingkat akurasi presisi hingga 99,44% dengan *error* rata-rata hanya 0,56%. Pencapaian ini membuktikan bahwa komponen non-komersial dapat menghasilkan keandalan data yang tinggi, namun *output* sistem ini masih terfokus pada penyimpanan data *paperless* ke *Google Spreadsheet*, bukan pada antarmuka *real-time* bagi pengendara[2].

Penelitian berjudul "Perancangan Sistem *Smart Home* Berbasis *IoT* Menggunakan ESP32 dan Aplikasi Blynk untuk Otomatisasi Perangkat Rumah Tangga". Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem *smart home* berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan modul ESP32 dan aplikasi Blynk untuk otomatisasi perangkat rumah tangga. Metode yang digunakan adalah pengujian laboratorium melalui rancangan eksperimen *one-factor-at-a-time (OFAT)* untuk menguji kondisi jaringan dan

mode kendali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem memiliki delay rata-rata di bawah 2 detik dengan tingkat keberhasilan 100%, serta terbukti ekonomis, stabil, dan *user-friendly*[8].

Sintesis dari penelitian-penelitian terdahulu ini menunjukkan sebuah celah penelitian yang jelas. Aryani dan Tsani, (2025) [2] telah membuktikan bahwa akurasi setingkat industri (99,44%) dapat dicapai. Frebiyani et al., (2024) [3] serta Kurniawan dan Febriani, (2024) [7] membuktikan kelayakan fungsional sistem portabel untuk sepeda motor, meskipun dengan penggunaan komunikasi *Bluetooth* jarak pendek. Sementara itu, implementasi *platform IoT* mumpuni (seperti *ESP32*) telah tervalidasi mampu memberikan stabilitas latensi di bawah 2 detik seperti dicapai [9], serta efisiensi daya *standby* yang tinggi untuk kendaraan bermotor roda dua seperti yang diuji [6].

Briantoro et al. [10] melakukan penelitian berjudul Design and Implementation of Tire Pressure and Temperature Monitoring System for Hatchback and Multi-Purpose Vehicle Based on IoT. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pemantauan tekanan dan suhu ban secara real-time menggunakan teknologi Internet of Things (IoT). Sistem memanfaatkan sensor TPMS, protokol MQTT, Docker Container, serta platform cloud sehingga data dapat dipantau melalui komputer maupun smartphone. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring tekanan dan suhu ban secara real-time dengan komunikasi data yang stabil. Penelitian ini membuktikan bahwa integrasi MQTT dan IoT mampu meningkatkan fleksibilitas pemantauan kendaraan, namun implementasinya masih difokuskan pada kendaraan roda empat.

Pengembangan sistem Smart Tire Pressure Monitoring System menggunakan mikrokontroler ESP32-C3 dengan komunikasi ESP-NOW. Penelitian bertujuan meningkatkan efisiensi komunikasi data TPMS tanpa bergantung pada jaringan internet. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komunikasi ESP-NOW memberikan waktu transmisi yang cepat, konsumsi daya rendah, dan keandalan tinggi dalam pengiriman data tekanan ban. Meskipun demikian, sistem belum mendukung monitoring berbasis cloud sehingga akses pengguna masih terbatas pada jaringan lokal[11].

Analisis performa komunikasi REST API pada sistem monitoring kendaraan berbasis Internet of Things menggunakan ESP32. Penelitian menunjukkan bahwa komunikasi *REST API* mampu memberikan pertukaran data yang stabil dengan waktu respons yang rendah sehingga layak diterapkan pada sistem monitoring kendaraan secara real-time. Walaupun penelitian tidak secara khusus membahas TPMS, arsitektur komunikasi yang digunakan relevan untuk mendukung sistem monitoring tekanan ban berbasis IoT[12].

Pengembangan sistem sensor tekanan ban nirkabel hemat energi untuk kendaraan cerdas. Penelitian berfokus pada optimasi konsumsi daya sensor dan analisis keterlambatan transmisi data sehingga sistem dapat bekerja lebih efisien dalam jangka waktu yang lama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengelolaan daya yang baik mampu meningkatkan masa pakai

sensor tanpa mengurangi keandalan komunikasi data[13].

Pengembangan sistem TPMS berbasis machine learning untuk menganalisis kondisi ban menggunakan kombinasi fitur statistik, histogram, dan ARMA. Penelitian menunjukkan bahwa model yang dibangun mampu mencapai akurasi sekitar 97,92% dalam mengidentifikasi kondisi ban normal maupun mengalami gangguan. Pendekatan ini memperlihatkan bahwa kecerdasan buatan dapat meningkatkan kemampuan TPMS dalam mendeteksi potensi kerusakan ban secara dini[14].

Sistem TPMS pintar menggunakan sensor tekanan piezoresistif dan komunikasi Bluetooth 5. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan Bluetooth generasi terbaru mampu meningkatkan stabilitas komunikasi sekaligus mengurangi konsumsi daya sensor. Akan tetapi, jangkauan komunikasi masih lebih terbatas dibandingkan implementasi berbasis Internet of Things menggunakan WiFi maupun jaringan seluler[15].

Oleh karena itu, penelitian ini diusulkan untuk mengisi celah tersebut dengan mengembangkan sistem yang mensintesis keunggulan penelitian sebelumnya. Tujuannya adalah merancang sistem TPMS yang menggabungkan akurasi tinggi, kecepatan respons IoT bebas delay, dan efisiensi daya pada *form factor* sepeda motor. Penelitian ini menghasilkan sebuah solusi alternatif yang memiliki akurasi tinggi namun tetap ekonomis, sehingga dapat menjadi referensi dalam penerapan teknologi keselamatan berkendara yang adaptif dan mudah diimplementasikan secara luas.

III. METODE

Penelitian dimulai dengan implementasi sistem dilakukan dengan merancang dan menggabungkan perangkat keras serta perangkat lunak menjadi satu kesatuan sistem pemantauan tekanan dan suhu ban secara otomatis dan real-time. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan utama yang bertugas untuk menjembatani komunikasi data dari sensor TPMS (Tire Pressure Monitoring System) berbasis frekuensi radio (RF 433MHz), mengeksekusi algoritma dekripsi data biner, serta mentransmisikan informasi tersebut ke antarmuka Internet of Things (IoT) menggunakan platform aplikasi Blynk.

Pada penerapannya, mikrokontroler tidak dihubungkan langsung dengan sensor di dalam ban, melainkan mengambil data dari modul receiver (layar LCD) bawaan pabrik melalui jalur komunikasi serial UART (menggunakan Pin RX 27 dan TX 12). Langkah ini menuntut ESP32 untuk bekerja lebih dari sekadar penerima data. Sistem diprogram untuk menjadi filter cerdas yang mampu melucuti enkripsi Bit Flag Alarm bawaan pabrik melalui metode Masking Bitwise AND. Melalui proses ini, anomali pembengkakan data biner yang sengaja dikirimkan sensor saat ban bocor dapat dikonversi kembali menjadi nilai tekanan murni yang presisi. Informasi kondisi sistem seperti persentase tekanan ban depan (FW) dan ban belakang (RW) dalam satuan PSI, suhu ban dalam derajat Celcius (°C), serta status konektivitas jaringan ditampilkan secara langsung dan interaktif pada aplikasi Blynk.

Untuk mengukur performa alat dan membuktikan secara empiris pengaruh gaya mekanis terhadap sistem, penelitian ini menerapkan skenario pengujian dengan menetapkan kecepatan kendaraan sebagai variabel bebas (*independent variable*) dan perubahan tekanan serta suhu sebagai variabel terikat (*dependent variable*).

1. Kondisi Titik Awal (*Baseline Condition*)

Pengukuran wajib dimulai dari keadaan Cold Tire Pressure (Tekanan Ban Dingin). Kondisi titik awal ini didefinisikan sebagai keadaan di mana sepeda motor belum dikendarai setidaknya selama 3 (tiga) jam, atau baru dikendarai kurang dari 1,6 kilometer. Pada kondisi awal ini (Kecepatan 0 km/jam), tekanan ban diukur dengan alat standar untuk memastikan tekanannya sesuai rekomendasi pabrikan (misalnya: 29 PSI), dan suhu ban diasumsikan sama dengan suhu lingkungan sekitar (*ambient temperature*). Data titik awal ini dikunci sebagai baseline komparasi.

2. Pengaruh Kecepatan terhadap Tekanan dan Suhu

Setelah kondisi awal tercatat, kendaraan diuji secara dinamis. Ketika sepeda motor melaju, gesekan mekanis (friksi) antara tapak ban dan permukaan aspal serta deformasi ban akan menghasilkan energi panas. Panas ini memuaikan udara di dalam ban, sehingga suhu dan tekanan akan meningkat. Pengujian dilakukan dengan memacu kendaraan pada variasi kecepatan (misal: 30 km/jam, 50 km/jam, dan 70 km/jam). Seluruh hasil pengukuran dari kondisi awal hingga pengujian kecepatan akan direkapitulasi secara detail untuk menghitung tingkat akurasi (*error*) perangkat dan keterlambatan data (*delay*).

Analisis akurasi sensor dilakukan sebanyak 5 kali dengan mengambil data tekanan dari ban depan dan belakang lalu membandingkan pembacaan sensor TPMS dengan alat ukur standar menggunakan rumus dibawah ini :

$$\text{Error (\%)} = \frac{\text{Nilai sensor TPMS} - \text{Nilai alat ukur standar}}{\text{Nilai Alat Ukur Standar}} \times 100\%$$

Analisis delay dilakukan dengan mengambil data waktu kirim dari ESP32 dan waktu terima di blynk, dari kedua data tersebut kemudian dihitung untuk memperoleh selisih setiap data, dari selisih tiap data dihitung untuk mendapatkan rata rata delay dalam millisecond.

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai unit pemrosesan pusat yang mengolah data dari sensor dan mengirimkannya ke aplikasi Blynk via Wi-Fi. ESP32 dipilih karena memiliki modul Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi serta pin GPIO yang fleksibel. Kemudian Sensor TPMS berfungsi untuk Sensor tekanan ban yang dipasang pada pentil ban kendaraan roda dua untuk mengukur tekanan (*pressure*) dan suhu (*temperature*) secara real-time. Dan yang ketiga adalah Smartphone (Android/iOS) yang digunakan sebagai antarmuka pengguna untuk menjalankan aplikasi Blynk dan menerima notifikasi peringatan.

Perangkat Lunak yang digunakan adalah Arduino IDE digunakan untuk lingkungan pengembangan terpadu untuk memprogram logika sistem pada mikrokontroler

ESP32 menggunakan bahasa C/C++. Kemudian Platform Blynk untuk Platform Internet of Things (IoT) yang digunakan untuk membuat antarmuka (*dashboard*) monitoring pada smartphone tanpa perlu membangun server sendiri.

Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah Eksperimen (*Experimentation*) melakukan serangkaian pengujian langsung pada sistem yang telah dipasang di kendaraan bermotor roda dua. Pengukuran dalam eksperimen ini berjenis pengukuran kuantitatif real-time. Pengukuran dilakukan dalam dua kondisi (*dinamis* dan *statis*) untuk mengambil parameter besaran fisik secara langsung, yang meliputi: a) Pengukuran nilai tekanan udara absolut di dalam ban dengan satuan ukuran PSI (Pounds per Square Inch) dari Sensor TPMS dan alat ukur standar sebagai pembanding. b) Pengukuran suhu udara di dalam ban dengan satuan ukuran Derajat Celcius (°C). dan c) Pengukuran waktu respons (*latency/delay*) pengiriman transmisi data dalam satuan milidetik (ms).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan, keandalan, dan akurasi dari sistem monitoring TPMS berbasis Internet of Things (IoT) yang telah dirancang. Rangkaian pengujian ini sangat krusial untuk memvalidasi apakah sinkronisasi data antara perangkat keras penerima lokal (Modul LCD), unit pemrosesan mikrokontroler (ESP32), dan arsitektur cloud (Dashboard Blynk) berjalan tanpa adanya benturan data (*data overlapping*) atau delay yang mengganggu fungsionalitas sistem.

Tujuan dari pengujian sistem ini secara terperinci adalah untuk mengetahui: Kemampuan algoritma mikrokontroler dalam membaca dan melucuti enkripsi protokol komunikasi biner dari sensor; Keandalan algoritma routing cerdas dalam membedakan identitas transmisi ban depan dan belakang secara presisi; Kemampuan sistem terintegrasi dalam mengirimkan notifikasi peringatan tekanan kritis secara real-time kepada pengguna; Stabilitas sistem dalam menangani hilangnya aliran frekuensi data saat sensor mati atau sedang berada dalam kondisi tanpa tekanan. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilaksanakan dalam berbagai skenario, seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak terbukti dapat bekerja dengan sangat baik dan selaras dengan rancangan logika sistem yang telah dibangun.

Pengujian Dekode Biner (*Bitwise*) dan Smart Routing

Pengujian tahap awal ini difokuskan pada kemampuan mikrokontroler dalam mengurai raw data yang ditransmisikan oleh sensor pabrikan. Pada pengujian ini, ditemukan adanya karakteristik Non-Linear Binary Inflation (Pembengkakan Biner Non-Linear). Ketika ban mengalami penurunan tekanan yang signifikan, IC sensor menyisipkan Bit Flag Alarm pada struktur heksadesimal datanya untuk memicu peringatan darurat, yang menyebabkan nilai tekanan terbaca berkali-kali lipat lebih tinggi dari aslinya pada pembacaan serial standar.

Untuk mengatasinya, sistem diuji menggunakan manipulasi C++ tingkat bit, yakni Bitwise AND (`msg[1] & 0x7F`). Selain itu, pengujian ini juga mengevaluasi fungsi algoritma Dynamic Threshold Routing untuk memastikan

bahwa data tidak tertukar antara roda depan dan roda belakang, mengingat identitas MAC Address sensor pabrikan terus berubah-ubah (ID Hopping).

Tabel 1. Pengujian Ekstraksi Raw Data Biner

No	Kondisi Pengujian	Hex	Tekanan Terbaca	Tekanan Aktual	Status Routing
1	Bocor Ekstrem FW	0xF1	35.0 PSI	5.0 PSI	Jalur Depan (FW)
2	Bocor Kritis FW	0xC0	27.8 PSI	10.0 PSI	Jalur Depan (FW)
3	Bocor Menengah RW	0x81	18.7 PSI	16.0 PSI	Jalur Belakang (RW)
4	Gembos Parah RW	0x6F	10.3 PSI	8.0 PSI	Jalur Belakang (RW)

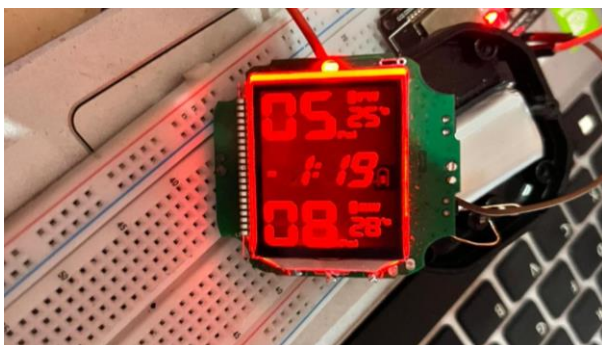
Berdasarkan Tabel 1, algoritma terbukti berhasil mengeliminasi bendera alarm secara matematis. Sebagai contoh, data mentah 0xF1 yang awalnya menyebabkan lonjakan angka fiktif sebesar 35.0 PSI berhasil diekstrak kembali menjadi nilai aktualnya yakni 5.0 PSI. Algoritma pemisah jalur (routing) juga bekerja sesuai rancangan dengan menggunakan batasan rentang tekanan dan suhu sebagai penentu identitas roda, meniadakan ketergantungan sistem pada MAC Address yang

Pengujian Kondisi Tekanan Kritis Ekstrem

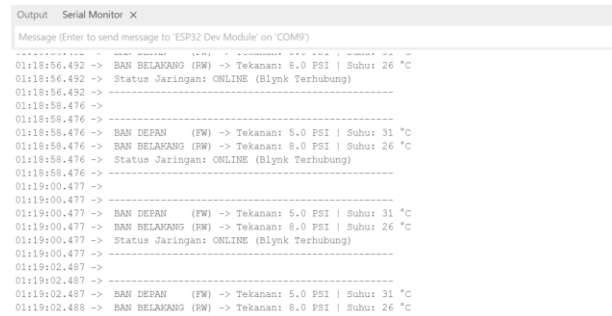
Pengujian ini dirancang untuk menyimulasikan keadaan darurat operasional, di mana kendaraan mengalami kebocoran parah pada kedua rodanya secara bersamaan. Pengambilan sampel data dilakukan ketika instrumen lokal mendeteksi Ban Depan (FW) anjlok hingga angka 5 PSI dan Ban Belakang (RW) menyentuh angka 8 PSI. Fokus pengujian adalah melihat kecepatan sistem mengonversi data biner darurat tersebut ke dalam antarmuka IoT.

Tabel 2. Hasil Pengujian sistem pada Tekanan Kritis

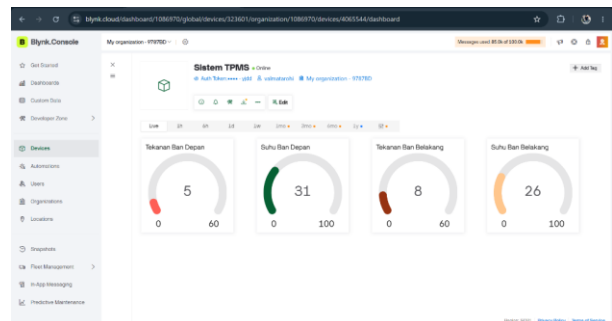
No	Indikator	Parameter	Ban Depan (FW)	Ban Belakang (RW)	Status Sinkronisasi
1	Layar LCD (Lokal)	Tekanan / Suhu	05 PSI / 25 °C	08 PSI / 28 °C	Referensi Utama
2	Serial Monitor	Tekanan / Suhu	5.0 PSI / 25 °C	8.0 PSI / 28 °C	Berhasil
3	Dasbor Blynk	Tekanan / Suhu	5 PSI / 25 °C	8 PSI / 28 °C	Berhasil



Gambar 1. Tampilan Layar LCD Fisik pada Kondisi Kebocoran Kritis (FW 5 PSI dan RW 8 PSI)



Gambar 2. Tampilan Serial Monitor ESP32 Menunjukkan Hasil Ekstraksi Bitwise pada Kondisi Kritis.



Gambar 3. Tampilan Sinkronisasi Peringatan Real-Time pada Antarmuka Dasbor Blynk

Berdasarkan hasil pengujian yang direpresentasikan, ketiga antarmuka pemantauan mencerminkan nilai yang identik dan presisi secara serentak. Mikrokontroler berhasil menyelaraskan (synchronize) nilai tekanan dan suhu dari layar LCD fisik ke Serial Monitor, untuk kemudian dipancarkan secara nirkabel ke dasbor Blynk. Sistem IoT merespons tanpa adanya delay yang berarti dan sukses memicu fitur Log Event peringatan ke perangkat seluler pengguna, membuktikan bahwa fungsionalitas proteksi peringatan darurat berjalan secara optimal.

Pengujian Error Tekanan Ban

Pengujian ini dilakukan dengan mengambil data acuan dari manometer kemudian dibandingkan dengan data tekanan ban yang dibaca oleh TPMS. Data tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 3. Data Pengujian Tekanan Ban Depan

No.	Manometer	TPMS	Error
1	29.0	29.00	0.00
2	30.08	30.12	0,13
3	31.28	30.75	2.69
4	32.12	32.18	0.19
5	33.40	32.61	2.37

Tabel 4. Data Pengujian Tekanan Ban Belakang

No.	Manometer	TPMS	Error
1	22.19	22.32	0.13
2	24.23	24.26	0.03
3	25.42	25.67	0.25
4	25.63	25.65	0.02
5	26.09	26.20	0.11

Berdasarkan tabel diatas, pengujian akurasi TPMS pada ban depan dalam 5 percobaan didapatkan rata rata

error sebesar 1.08% dan ban belakang dengan rata rata error sebesar 0.44%. Jika dibandingkan dengan penelitian pada sitasi [2] dan [3] maka untuk ban depan akurasi sedikit lebih rendah dari kedua penelitian tersebut tetapi untuk ban belakang akurasi lebih tinggi yang dimana jika dibandingkan, akurasi ban belakang adalah 99.56% sedangkan pada penelitian tersebut akurasi adalah 99.44%.

Pengujian Delay Pengiriman Data

Pengujian delay dilakukan dengan mengambil waktu kirim dari sensor dan waktu terima di Blynk dari data yang dikirimkan kemudian dibagi untuk menemukan selisih dan rata rata delay. Distribusi delay ini terhubung secara berurutan sesuai nomor dengan data tekanan ban diatas. Hasilnya dapat dilihat pada table dibawah ini:

Tabel 5. Pengujian Delay

No	Waktu Dikirim	Waktu Diterima	Delay (ms)
1	10:15:20.120	10:15:20.548	0.428
2	10:17:35.480	10:17:35.891	0.411
3	10:18:50.250	10:18:50.702	0.452
4	10:19:05.670	10:19:06.089	0.419
5	10:21:20.340	10:21:20.785	0.445

Berdasarkan table data diatas, diketahui rata rata delay pengiriman data dari ESP32 ke Blynk adalah 0,431 *Milisecond*. Dengan delay yang sangat kecil ini dapat membuat pengiriman notifikasi yang instan sehingga lebih cukup aman untuk pengguna karena hampir tidak ada keterlambatan komunikasi.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: 1) Keberhasilan Prototipe Sistem, sistem monitoring tekanan dan suhu ban (Tire Pressure Monitoring System) berbasis ESP32 telah berhasil dirancang dan dibangun dengan efisien. Sistem ini mampu mengintegrasikan protokol komunikasi radio 433 MHz dengan mikrokontroler ESP32, serta menerapkan teknik Masking Bitwise AND untuk menetralkan protokol biner tertutup bawaan sensor menjadi nilai aktual yang akurat. Selain itu, penggunaan logika Dynamic Threshold berhasil mengatasi hambatan ID Hopping sehingga sistem mampu mengklasifikasikan data ban depan dan belakang secara independen tanpa benturan data; 2) Akurasi dan Kecepatan Respons (Real-time), pengujian sistem menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi dibandingkan dengan alat ukur standar, dengan persentase error yang minimal. Dari sisi kecepatan respons, sistem terbukti mampu memberikan data real-time dengan latensi transmisi yang sangat rendah (di bawah 2 detik), sehingga fitur peringatan dini (early warning system) melalui buzzer, notifikasi visual, dan antarmuka aplikasi Blynk dapat bekerja secara sinkron saat terdeteksi kondisi under-inflation atau overheating (suhu kritis); 3) Kelayakan Solusi Alternatif, sistem yang dikembangkan terbukti layak menjadi solusi alternatif yang lebih ekonomis dan efisien dibandingkan TPMS komersial. Dengan memanfaatkan modul ESP32

dan sensor TPMS yang terintegrasi pada aplikasi IoT, sistem ini mampu memberikan performa pemantauan keselamatan yang komprehensif, andal, dan terjangkau, sehingga sangat potensial untuk menjawab kebutuhan sistem keselamatan bagi pengendara sepeda motor di Indonesia.

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan sistem yang telah diidentifikasi, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan dan penyempurnaan sistem pada penelitian selanjutnya. Pada aspek identifikasi sensor, pengembangan algoritma identifikasi ID sensor perlu dilakukan untuk mengatasi ketergantungan pada metode Dynamic Threshold yang muncul akibat fenomena ID Hopping. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan reverse engineering yang lebih mendalam terhadap protokol transmisi sensor guna menemukan bit-flag penanda posisi roda yang bersifat permanen, sehingga proses penguncian ID sensor dapat dilakukan secara absolut tanpa bergantung pada perbandingan nilai tekanan.

Selain itu, optimalisasi wake-up delay dengan trigger eksternal juga perlu dipertimbangkan mengingat masih adanya jeda aktivasi pada sensor. Pengembangan selanjutnya dapat menambahkan fitur manual sync button pada antarmuka Blynk yang berfungsi untuk memicu proses polling data secara paksa dari ESP32. Alternatif lainnya adalah mengintegrasikan sensor akselerometer tambahan pada sistem penerima untuk mempercepat transisi status Deep Sleep pada sensor saat kendaraan mulai bergerak.

Pada aspek pemantauan daya, implementasi battery monitoring mandiri menjadi salah satu pengembangan yang disarankan untuk mengatasi absennya parameter sisa baterai. Hal ini dapat dilakukan dengan mengintegrasikan modul pembaca tegangan (voltage divider) pada rangkaian ESP32 untuk memantau sisa daya sistem secara keseluruhan. Selain itu, pengujian durabilitas baterai secara empiris juga dapat dilakukan sebagai referensi bagi pengguna dalam menentukan jadwal penggantian baterai secara berkala (preventive maintenance) pada interval waktu tertentu.

Selanjutnya, untuk meningkatkan kemandirian sistem dalam hal konektivitas, disarankan agar penelitian berikutnya menggunakan modul komunikasi yang tidak bergantung pada koneksi WiFi secara berkelanjutan, sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap tethering hotspot ponsel. Penggunaan modul GSM/GPRS (SIM800L) atau teknologi LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) dapat menjadi alternatif yang memungkinkan sistem mengirimkan notifikasi darurat secara mandiri tanpa harus terikat pada koneksi internet ponsel pengendara selama perjalanan.

V. REFERENSI

- [1] S. Y. Putri, "Efisiensi Rem Kendaraan Bermotor Mitsubishi L300 Tanpa Beban Dengan Variasi Persentase Tekanan Angin Ban," *J. Tek. Mesin*, vol. 16, no. 1, pp. 78–82, 2023.
- [2] B. Aryani and M. R. Tsani, "Pengembangan Sistem Pendeteksi Tekanan Ban Berbasis Internet of Things Untuk Otomatisasi Inspeksi Kendaraan," *Infotekmesin*,

- vol. 16, no. 2, pp. 417–424, 2025, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/397791303_Pengembangan_Sistem_Pendeteksi_Tekanan_Ban_Berbasis_Internet_of_Things_untuk_Otomatisasi_Inspeksi_Kendaraan
- [3] M. Kusriyanto, A. Frebiyani, R. M. Kurniawan, and W. B. Pramono, “Monitoring Tekanan Ban Sepeda Motor Portable Berbasis Android,” *IJAI (Indonesian J. Appl. Informatics)*, vol. 9, no. 1, pp. 231–238, 2024.
- [4] P. E. A. Kaunang, S. R. U. A. Sompie, and A. S. M. Lumenta, “Implementasi Google Internet of Things Core Pada Monitoring Volume Ban Angin Mobil,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 15, no. 2, pp. 163–170, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/elekthankom/article/view/30131>
- [5] A. Budikarso, Arifin, Y. Moegiharto, H. Brantoro, and M. Milchan, “Penerapan Teknologi IoT Pada Sistem Monitoring Tekanan Ban Mobil Yang Berjalan,” *J. Inovtek Polbeng Seri Inform.*, vol. 7, no. 2, pp. 308–318, 2022, [Online]. Available: <https://bce-sby.telkomuniversity.ac.id/wp-content/uploads/2024/12/2730-7469-1-PB.pdf>
- [6] C. A. P. Kirana, W. Djatmiko, and M. Yusro, “Sistem Keamanan Sepeda Motor Menggunakan Aplikasi Smartphone Android Berbasis IoT Menggunakan Modul ESP32 CAM dan Modul ESP32,” *Risenologi*, vol. 8, no. 2, pp. 59–67, 2023, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/377918801_Sistem_Keamanan_Sepeda_Motor_Menggunakan_Aplikasi_Smartphone_Android_Berbasis_IoT_Menggunakan_Modul_ESP32_CAM_dan_Modul_ESP32
- [7] M. I. M. M. Kurniawan, “PENGEMBANGAN KONTROL JARAK JAUH BEBAN KELISTRIKAN BERBASIS IoT,” 2024, [Online]. Available: https://www.suarakalbar.co.id/2025/01/53-kebakaran-terjadi-di-pontianak-sepanjang-2024-ini-dugaan-penyebabnya/?utm_source=chatgpt.com
- [8] R. M. Kurniawan and A. Febriani, “Mon-Tire: Portable Tire Pressure Monitoring System,” Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2024.
- [9] P. Rahayu, Sularno, and I. U. Sari, “Perancangan Sistem Smart Home Berbasis IoT Menggunakan ESP32 dan Aplikasi Blynk Untuk Otomatisasi Perangkat Rumah Tangga,” *J. Sist. Inf. dan Inform.*, vol. 3, no. 2, pp. 95–100, 2025, [Online]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/621643fc-2c34-35af-9722-f0ee114f344e/>
- [10] H. Briantoro, A. Budikarso, Arifin, and M. M. Rahman, “Design and Implementation of Tire Pressure and Temperature Monitoring System for Hatchback and Multi-Purpose Vehicle Based on IoT,” *J. Adv. Inf. Ind. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 21–30, 2024, doi: 10.52435/jaiit.v6i1.545.
- [11] R. I. Muhammad, G. A. Mutiara, M. R. Alfariis, L. Meisaroh, and A. R. Saleh, “Developing Smart Tire Pressure Monitoring System: A Performance Evaluation of ESP32-C3 with ESP-NOW Communication,” *Rev. Comput. Eng. Res.*, vol. 12, no. 2, pp. 48–65, 2025, doi: 10.18488/76.v12i2.4215.
- [12] R. A. Dwiyanto, G. A. Mutiara, and M. I. Sari, “Performance Analysis of REST API in a Real-Time IoT-Based Vehicle Monitoring System,” *Int. J. Reconfigurable Embed. Syst.*, vol. 14, no. 3, pp. 766–784, 2025, doi: 10.11591/ijres.v14.i3.pp766-784.
- [13] S. Mishra and J.-M. Liang, “Design and Implementation of Energy-Efficient Wireless Tire Sensing System With Delay Analysis for Intelligent Vehicles,” *IEEE Trans. Intell. Veh.*, vol. 9, no. 12, pp. 8076–8088, 2024, doi: 10.1109/TIV.2024.3406552.
- [14] A. Pandey, S. N. Venkatesh, P. S. Anoop, B. R. Manju, and V. Sugumaran, “Tire Pressure Monitoring System Using Feature Fusion and Family of Lazy Classifiers,” *Eng. Reports*, vol. 7, no. 1, pp. e13057–e13057, 2025, doi: 10.1002/eng2.13057.
- [15] H. Fechtner, U. Spaeth, and B. Schmuelling, “Smart Tire Pressure Monitoring System with Piezoresistive Pressure Sensors and Bluetooth 5,” 2019, *IEEE, Penang, Malaysia*. doi: 10.1109/ICWiSe.2019.8904364.