



## Rancang Bangun Sistem Pemantauan Tekanan dan Suhu Ban Berbasis *Internet of Things* dan *Software Defined Radio*

Hendy Briantoro<sup>1\*</sup>, Anang Budikarso<sup>2</sup>, Arifin<sup>3</sup>, Yoedy Moegiharto<sup>4</sup>, Mohammad Yanuar Hariyawan<sup>5</sup>

<sup>1,5</sup>Universitas Telkom, Kampus Surabaya, Jl. Ketintang No.156 Surabaya 60231, Indonesia

<sup>2,3,4</sup>Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS Surabaya 60111, Indonesia

\* Corresponding Author: hendybr@telkomuniversity.ac.id

### Abstrak

Terdapat banyak kecelakaan kendaraan bermotor di jalan, salah satu penyebabnya adalah ban kendaraan yang pecah. Kecelakaan tersebut terjadi disebabkan karena pengemudi terus mengendarai kendaraannya meskipun tekanan dan suhu ban melebihi ambang batas yang ditentukan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka perlu adanya sistem pemantauan tekanan dan suhu ban kendaraan yang dapat terus-menerus dipantau oleh pengemudi. Jika terjadi kesalahan pada perangkat pemantauan di dashboard kendaraan, pengemudi dapat diingatkan oleh pihak lain yang juga memantau informasi tekanan dan suhu ban secara jarak jauh. Dalam penelitian ini, kami membuat sistem pemantauan tekanan dan suhu ban kendaraan yang bisa diakses secara jarak jauh menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT). Selain itu, kami menggunakan teknologi *Software Defined Radio* (SDR) untuk pembacaan data tekanan dan suhu. Sistem ini berhasil memantau perubahan tekanan dan suhu ban secara jarak jauh melalui komputer dan smartphone. Berdasarkan hasil pengujian, nilai standar deviasi terbaik untuk nilai tekanan ban adalah 3,54. Sedangkan nilai standar deviasi terbaik untuk nilai suhu ban adalah 1,72.

**Kata kunci:** Sistem Pemantauan Ban, *Internet of Things*, *Software Defined Radio*

### Abstract

There are many motor vehicle accidents on the road, one of the causes being tire blowouts. These accidents occur because drivers continue to drive their vehicles even though the tire pressure and temperature exceed the specified threshold. To address this issue, there is a need for a tire pressure and temperature monitoring system that can be continuously monitored by the driver. If there is a malfunction in the monitoring device on the vehicle dashboard, the driver can be alerted by others who also monitor tire pressure and temperature information remotely. In this study, we developed a tire pressure and temperature monitoring system for vehicles that can be accessed remotely using *Internet of Things* (IoT) technology. Additionally, we utilized *Software Defined Radio* (SDR) technology for pressure and temperature data reading. This system successfully monitors tire pressure and temperature changes remotely via computer and smartphone. Based on the test results, the best standard deviation value for tire pressure is 3.54, while the best standard deviation value for tire temperature is 1.72.

**Keywords** : *Tire Monitoring System, Internet of Things, Software Defined Radio*

---

## 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang memiliki jumlah kecelakaan kendaraan yang tinggi, korban mencapai sekitar 29.000 orang per tahun. Jasa Marga mencatat 22.717 kejadian dan sekitar 22% disebabkan oleh ban kendaraan yang pecah [1]. Hal ini terjadi karena kendaraan masih terus berjalan meskipun tekanan dan suhu ban melebihi batas yang ditentukan. Kendaraan seharusnya berhenti sejenak untuk mendinginkan suhu dan mengurangi tekanan udara di ban. Faktanya, para pengemudi tidak mengetahui suhu dan tekanan ban, sehingga mereka tidak tahu kapan harus menghentikan kendaraan.

Sejalan dengan kemajuan teknologi elektronik kendaraan, *Tire Pressure Management System (TPMS)* atau Sistem Pemantauan Tekanan Ban muncul sebagai komponen keamanan yang sangat penting dalam kendaraan. Penelitian tentang aplikasi TPMS untuk kendaraan roda empat telah didokumentasikan pada makalah [2]-[4]. Dalam makalah [5], pendekatan baru diadopsi untuk mendeteksi kehilangan tekanan ban dalam berbagai kondisi operasi. Penelitian dalam [6][7] juga menyelidiki aplikasi TPMS, dengan penekanan khusus pada mendeteksi perubahan frekuensi resonansi torsional sebagai indikator penurunan tekanan ban. Selain itu, pemantauan tekanan ban difasilitasi melalui sinyal kecepatan ban dari Sistem *Anti-lock Braking (ABS)*, memberikan potensi jalur efisien dan dapat diandalkan untuk pemantauan tekanan. Selain itu, studi lain [8] meneliti sistem pemantauan tekanan dan suhu ban yang berinteraksi dengan sinyal kontrol ABS, meningkatkan akurasi dan presisi proses pemantauan. Studi-studi ini menekankan pentingnya TPMS dalam memastikan kinerja dan keamanan ban yang optimal, memberikan informasi penting tentang kondisi ban dan memungkinkan antisipasi tepat waktu untuk mengurangi potensi risiko di jalan.

Salah satu solusi untuk masalah ban pecah adalah sistem pemantauan tekanan dan suhu ban kendaraan. Jika pemantauan jarak jauh diperlukan, diperlukan fasilitas komunikasi yang mudah untuk mengirimkan data dari kendaraan. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengirimkan data jarak jauh adalah teknologi Internet of Things (IoT). Teknologi IoT yang telah banyak dikembangkan adalah teknologi yang memungkinkan semua perangkat terhubung *online* untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas [9]-[12]. Banyak penelitian tentang IoT telah dipublikasikan, seperti dalam [13][14]. Aplikasi teknologi IoT untuk pemantauan tekanan ban mobil menggunakan sensor MPX5700AP dengan aplikasi Blynk pada smartphone Android telah dipelajari dalam [15]. Aplikasi IoT untuk sistem pemantauan suhu dilaporkan dalam [16][17].

Dalam penelitian ini, kami membuat sistem pemantauan tekanan dan suhu ban kendaraan secara jarak jauh yang menggunakan teknologi IoT. Pengiriman data tekanan dan suhu ban ke IoT server menggunakan protokol *Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)*. Selain itu, kami menggunakan sensor tekanan dan suhu ban yang terintegrasi dengan perangkat komunikasi nirkabel. Komunikasi antara sensor dan *controller* menggunakan teknologi *Software Defined Radio (SDR)*. Data yang dikirim oleh sensor menggunakan modulasi digital, dan *line coding* untuk meminimalisir data yang *error*. Data tekanan dan suhu ban dapat dipantau secara jarak jauh menggunakan perangkat komputer dan *smartphone*.

## 2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini, kami melakukan beberapa langkah dalam pelaksanaannya, yaitu melakukan studi literatur, mendesain sistem, mengimplementasikan sistem, dan pengujian sistem. Pada bab ini, kami akan menjelaskan langkah-langkah tersebut

### 2.1 Studi Literatur

Pada subbab ini, kami memaparkan secara singkat tentang *Tire Pressure Management System (TPMS)*, *Internet of Things (IoT)*, dan *Software Defined Radio (SDR)*.

*Tire Pressure Management System (TPMS)* atau Sistem Pemantauan Tekanan Ban dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, yaitu sistem langsung dan sistem tidak langsung. Pada sistem langsung, sensor dipasang secara individual pada setiap ban mobil, memungkinkan pengukuran tekanan ban yang akurat [15]. Di sisi lain, sistem tidak langsung mengandalkan sensor yang sudah ada di dalam kendaraan untuk memperkirakan tekanan ban kendaraan. Deteksi kehilangan tekanan ban dalam sistem ini dilakukan dengan memantau dengan cermat variasi nilai yang diukur [7][17]. Sistem langsung menyediakan data tekanan yang akurat secara *real-time* dari setiap ban. Sementara itu, sistem tidak langsung menggunakan sensor *onboard* yang sudah ada untuk menyimpulkan tekanan ban secara tidak langsung, menjadikannya alternatif yang ekonomis. Sistem TPMS memberikan kontribusi signifikan terhadap keselamatan kendaraan dengan memberi peringatan kepada pengemudi terhadap potensi penyimpangan tekanan ban, membantu mencegah situasi berbahaya, dan meningkatkan keselamatan jalan secara keseluruhan.

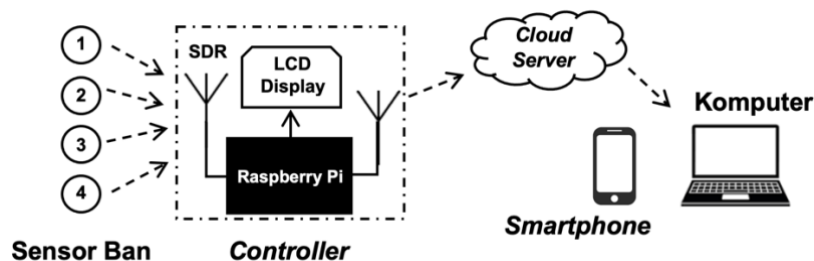
*Internet of Things (IoT)* merupakan teknologi jaringan yang memungkinkan konektivitas dan pertukaran data yang lancar di antara objek atau perangkat melalui internet, seperti perangkat sensor dan peralatan industri. Meratanya teknologi IoT telah memicu berbagai penelitian yang membahas tentang aplikasinya [9]-[12][18]. Pada [1], penulis meneliti tentang implementasi teknologi IoT untuk sistem pemantauan tekanan ban menggunakan sensor MPX5700AP. Untuk memvisualisasikan data tekanan ban, para peneliti menggunakan aplikasi Blynk yang berjalan pada *smartphone* Android. Selain itu, pada [15], peneliti juga memanfaatkan IoT untuk sistem pemantauan tekanan dan suhu ban. Dalam penelitian mereka, pengukuran tekanan dan suhu ban menggunakan sensor yang terpisah. Untuk pengukuran tekanan ban menggunakan sensor MPX5D00AP, sementara pengukuran suhu menggunakan sensor LM35. Visualisasi data difasilitasi dengan mengintegrasikan aplikasi Blynk pada *smartphone*. Salah satu protokol yang sering digunakan untuk IoT adalah Message Queueing Telemetry Transport (MQTT). Protokol ini berjalan pada TCP/IP dan bersifat *Open Source* [19].

*Software Defined Radio (SDR)* merupakan sistem komunikasi radio inovatif yang ditandai dengan penggantian komponen perangkat keras konvensional, seperti *mixer*, *filter*, *amplifier*, *modulator/demodulator*, dan *detector*, dengan implementasi perangkat lunak yang dijalankan pada komputer atau embedded system. SDR menawarkan fleksibilitas besar dalam penelitian di bidang telekomunikasi. Pada penelitian sebelumnya, kami memanfaatkan teknologi SDR untuk mengimplementasikan sistem komunikasi nirkabel menggunakan teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)* dan *line code* [20,21]. Integrasi ini telah menghasilkan solusi komunikasi nirkabel yang efisien dan handal. Selain itu, pada makalah [23], peneliti juga memanfaatkan kemampuan SDR untuk pengukuran saluran dalam sistem komunikasi multi-antena, seperti yang dijelaskan dalam publikasi mereka. Ada tiga jenis perangkat keras SDR, yaitu *SDR full-duplex transceiver*, *SDR half-duplex transceiver* dan *SDR receiver*. *SDR full-duplex transceiver* merupakan perangkat yang bisa berfungsi sebagai pengirim dan penerima sinyal radio secara bersamaan. Salah satu perangkat jenis ini adalah NI USRP-2920 yang merupakan produksi National Instruments (NI). Sedangkan *SDR half-duplex transceiver* merupakan perangkat yang bisa berfungsi sebagai pengirim dan penerima sinyal radio tapi berjalan secara bergantian. Salah satu perangkat jenis ini adalah HackRF One yang merupakan produksi dari Great Scott Gadgets.

Yang terakhir adalah SDR receiver. SDR jenis adalah adalah perangkat SDR yang hanya bisa menerima sinyal radio saja. Salah satu perangkat jenis ini adalah RTL-SDR. RTL-SDR adalah dongle USB yang digunakan sebagai pemindai radio berbasis komputer untuk menerima sinyal radio. RTL-SDR dapat menerima sinyal pada frekuensi dari 500kHz hingga 1,75GHz dan menggunakan chipset RTL2832U.

## 2.2. Desain Sistem

Pada bagian ini, kami membahas desain sistem dari sistem pemantauan tekanan dan suhu ban kendaraan menggunakan IoT dan SDR. Seperti yang terlihat pada Gambar 1, diagram blok mengilustrasikan komponen dan koneksi pada sistem tersebut. Pada sistem ini, kami menggunakan *Raspberry Pi 4B* sebagai *controller*. *Controller* ini dilengkapi dengan penerima sinyal radio berupa perangkat RTL-SDR, yang dirancang khusus untuk menerima dan melakukan proses *decoding* sinyal data tekanan dan suhu yang dikirim oleh sensor ban. Selain itu, untuk memudahkan pengguna, *Liquid Crystal Display (LCD)* diintegrasikan untuk memberikan informasi data tekanan dan suhu ban secara real-time.



Gambar 1. Desain Sistem

Proses sistem pemantauan tekanan dan suhu ban dijelaskan sebagai berikut. Pertama, sensor mengirimkan data tekanan dan suhu ban ke *controller*. Data yang dikirimkan adalah sinyal yang dimodulasi dengan *Frequency-Shift Keying (FSK)* dan sistem pengkodean *Manchester code*. FSK merupakan metode modulasi digital yang digunakan dalam telekomunikasi, khususnya transmisi radio, untuk mengirimkan data digital melalui gelombang pembawa dengan mengubah frekuensi gelombang pembawa. Dalam modulasi FSK, data digital yang akan dikirim direpresentasikan dengan frekuensi yang berbeda. Sementara itu, *Manchester code* adalah *line code* yang pengkodean setiap bit data diwakili oleh transisi atau perubahan polaritas dalam sinyal. *Manchester code* banyak digunakan dalam komunikasi data dan sangat populer di *ethernet* dan beberapa standar komunikasi nirkabel. *Manchester code* memiliki ketahanan terhadap *noise* dan distorsi.

Kemudian, data yang diterima oleh *controller*, dilakukan *decoding* menjadi data heksadesimal yang berisi data ID sensor, data tekanan ban, dan data suhu ban. Kemudian, data-data tersebut ditampilkan pada LCD. Selain itu, data juga dikirimkan ke *server cloud* melalui internet. Data dikirim dari *controller* ke *server cloud* menggunakan protokol *Message Queueing Telemetry Transport (MQTT)*. MQTT adalah salah satu protokol yang sering digunakan untuk keperluan IoT yang berjalan di atas TCP/IP dan bersifat *open source*. Perangkat komputer dan *smartphone* dapat memantau data tekanan dan suhu ban dari *server cloud* melalui aplikasi *browser* dengan mengakses tautan *server cloud*. Sistem ini memungkinkan tampilan *real-time* dari nilai tekanan dan suhu yang tidak hanya pada layar LCD yang terletak di *dashboard*, tetapi juga melalui aplikasi *smartphone* dan komputer.

## 2.3. Implementasi Sistem

Pada bagian ini, kami membahas secara rinci mengenai proses implementasi sistem pemantauan tekanan ban dan suhu ban. Pada sistem ini, kami menggunakan perangkat keras yang spesifikasinya ditunjukkan pada Tabel 1. Bentuk fisik perangkat ditunjukkan pada Gambar 2.

**Tabel 1 Spesifikasi Perangkat**

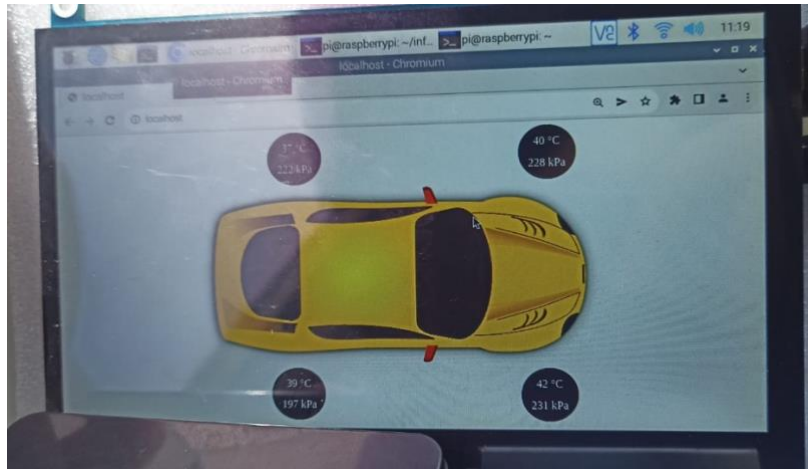
No	Nama Perangkat	Spesifikasi
1	Raspberry Pi 4B	Quadcore Cortex A-72 (ARM v8) 64-bit SoC 1.5GHz Broadcom BCM2711 2GB LPDDR4-2400 SDRAM Gigabit Ethernet 2.4GHz and 5.0GHz IEEE 802.11ac Wireless Bluetooth 5.0 (BLE) USB 2.0/3.0 ports Realtek RTL2832U Chip
2	RTL-SDR	Kisaran Frekuensi 500kHz ~ 1766MHz Bandwidth 3,2MHz Frekuensi 433MHz
3	Sensor Ban	Kisaran nilai tekanan 0 ~ 210 psi Kisaran nilai suhu -40 ~ 90 Celcius
4	Smartphone	MediaTek Helio G95 2,05 GHz 6GB RAM Android 13
5	Komputer	AMD Ryzen™ 5 5625U 8 GB DDR4 RAM 512 GB SSD Hard drive Windows 11
6	Powerbank	Kapasitas baterai 10.000mAh



**Gambar 2. Bentuk fisik controller**

Pada sistem ini, sensor ban mengirimkan data tekanan dan suhu ban melalui sinyal radio menggunakan sistem modulasi *Frequency-Shift Keying (FSK)* dan data tersebut diterima oleh *controller*. Sinyal yang dikirim menggunakan frekuensi *433MHz*. Kemudian, *controller* melakukan *decoding* sinyal data yang diterima. Data hasil decoding terdiri atas ID sensor, data tekanan dan data suhu ban. Data-data tersebut ditampilkan pada LCD. Untuk tampilannya, kami menggunakan bahasa pemrograman HTML yang dibuka menggunakan aplikasi browser. Gambar 3 menunjukkan tampilan di LCD. LCD menampilkan nilai tekanan ban dalam satuan *kiloPascal*

(*kPa*) dan nilai suhu ban dalam derajat *Celsius* ( $^{\circ}\text{C}$ ) yang disertai gambar mobil. Sehingga, dapat mempermudah pengemudi untuk melihat nilai tekanan dan suhu ban secara *real-time*.



Gambar 3. Tampilan pada LCD

Selain ditampilkan di LCD, data tekanan dan suhu ban juga dikirimkan ke *server cloud*. Data dikirim dari *controller* ke *server cloud* menggunakan protokol MQTT. Penyimpanan berbasis *cloud* ini memungkinkan untuk mengakses data tekanan dan suhu tersebut secara jarak jauh menggunakan *smartphone* dan komputer melalui alamat IP yang terkait dengan *server cloud*. Untuk aplikasi yang diakses oleh *smartphone* dan komputer, kami membuat aplikasi berbasis HTML yang diakses langsung menggunakan *browser*. *User interface* aplikasi pada *smartphone* dan komputer, ditunjukkan pada Gambar 4. Aplikasi menampilkan nilai tekanan ban dalam satuan *kiloPascal* (*kPa*) dan nilai suhu ban dalam derajat *Celsius* ( $^{\circ}\text{C}$ ). Aplikasi ini mudah dibaca oleh pengguna dan berjalan lancar pada *smartphone* dan komputer.



Gambar 4. Tampilan *user interface* aplikasi pada *smartphone* dan komputer

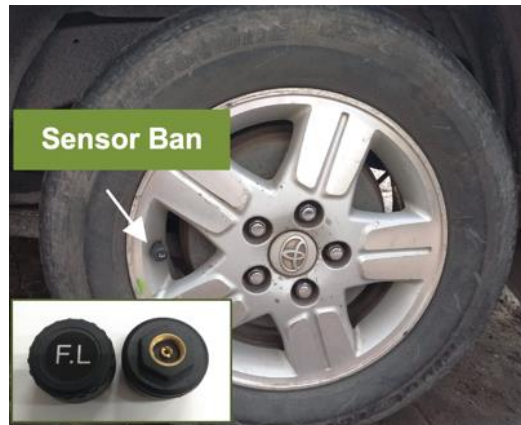
### 3. Hasil dan Pembahasan

Untuk memeriksa kinerja sistem, sistem ini diuji dengan melakukan perjalanan sejauh 60km dari Surabaya ke Pasuruan, Jawa Timur. Pengujian dilakukan pada siang hari. Pengujian dilakukan menggunakan kendaraan dengan kapasitas mesin 1.300cc. Dimensi keseluruhan mobil ini ditunjukkan pada Tabel 2. Pada pengujian, sensor ban ditempatkan pada masing-masing ban

mobil yang berukuran 185/65 R15. Gambar 5 menampilkan penempatan sensor pada ban mobil dan bentuk fisik sensornya.

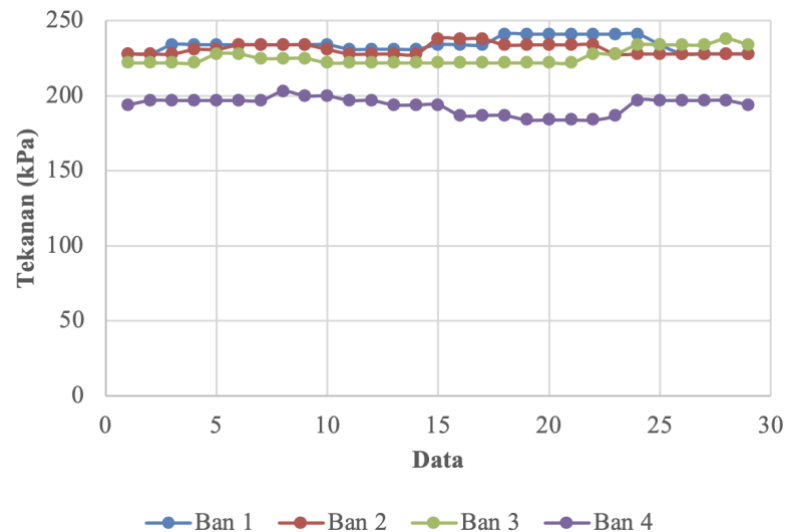
**Tabel 2 Spesifikasi Dimensi Kendaraan**

No	Dimensi	Ukuran (cm)
1	Panjang	439,5
2	Lebar	173,0
3	Tinggi	166,5



**Gambar 5. Penempatan sensor ban dan bentuk fisiknya**

Dari hasil pengujian, sistem ini mampu merekam dan menampilkan perubahan nilai tekanan dan suhu secara *real-time*. Gambar 6 menunjukkan hasil pemantauan tekanan ban dalam satuan *kilo Pascal (kPa)*. *Pascal (Pa)* merupakan satuan internasional untuk nilai tekanan. *Pascal (Pa)* didefinisikan sebagai jumlah gaya satu Newton yang berada di atas suatu area satu meter persegi ( $N/m^2$ ).



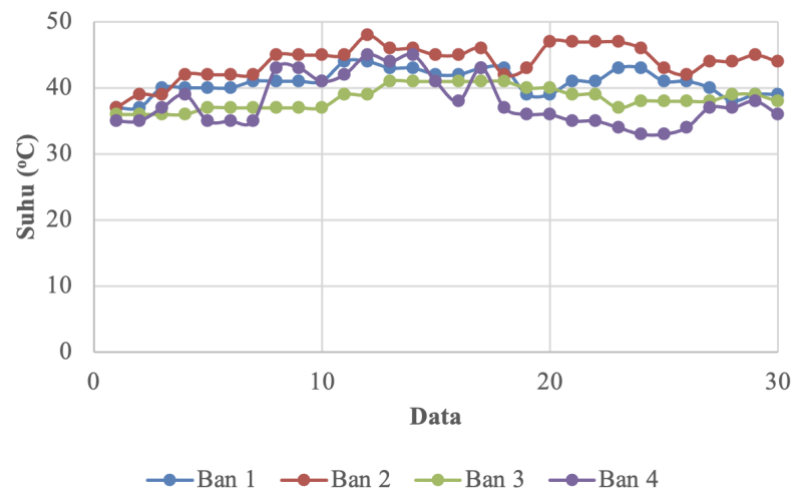
**Gambar 6. Hasil pengujian nilai tekanan ban**

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai tekanan di semua ban cukup fluktuatif. Fluktuasi ini bisa disebabkan oleh kondisi jalan yang berbeda-beda dan pengukuran juga dilakukan ketika kendaraan berjalan. Selain itu, kami menampilkan hasil nilai rata-rata dan standar deviasi dari nilai tekanan yang terekam oleh sistem. Data tersebut ditampilkan pada Tabel 3. Berdasarkan hasil tersebut, nilai standar deviasi terbaik adalah 3,54.

**Tabel 3 Nilai rata-rata dan standar deviasi dari nilai tekanan ban**

Ban	Nilai rata-rata tekanan ban (KPa)	Nilai standar deviasi
1	233,83	4,66
2	231,1	3,54
3	226,03	5,26
4	193,73	5,46

Selain nilai tekanan, kami juga melakukan pengujian pemantauan suhu ban. Hasil pemantauan suhu ban ditunjukkan dalam Gambar 7. Data suhu ban ditampilkan dalam satuan derajat Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ). Hasil pengujian menunjukkan bahwa suhu ban berfluktuasi. Dari hasil pengujian, suhu ban 1 dan ban 2 lebih tinggi daripada ban lainnya karena posisi ban 1 dan ban 2 berada dekat dengan mesin mobil. Sehingga suhu ban tidak hanya dipengaruhi oleh suhu lingkungan saja, tetapi juga dipengaruhi oleh panas mesin. Selain itu, kami juga menghitung nilai rata-rata dan deviasi standar suhu ban. Nilai standar deviasi terbaik adalah 1,72. Data tersebut ditampilkan dalam Tabel 4.

**Gambar 7. Hasil pengujian nilai suhu ban****Tabel 4 Nilai rata-rata dan standar deviasi dari suhu ban**

Ban	Nilai rata-rata suhu ban ( $^{\circ}\text{C}$ )	Nilai standar deviasi
1	40,87	1,91
2	44,0	2,63
3	38,43	1,72
4	37,9	3,74

#### 4. Kesimpulan

Kecelakaan kendaraan yang disebabkan oleh ban pecah merupakan salah satu kecelakaan yang sering terjadi. Hal ini disebabkan karena pengemudi terus mengendarai kendaraannya meskipun tekanan dan suhu ban melebihi ambang batas yang ditentukan. Makalah ini mengatasi masalah ban pecah dengan membuat sistem pemantauan tekanan dan suhu ban kendaraan yang menggunakan teknologi *Internet of Things (IoT)* dan *Software Defined Radio (SDR)*. Informasi tekanan dan suhu ban ditampilkan pada layar LCD Raspberry Pi, *smartphone*, dan komputer. Sistem ini berhasil memberikan pemantauan secara *real-time* terhadap perubahan tekanan dan suhu pada ban kendaraan. Berdasarkan hasil pengujian, standar deviasi terbaik untuk nilai tekanan ban adalah 3,54, sementara standar deviasi terbaik untuk nilai suhu ban adalah 1,72. Sistem ini berkontribusi untuk meningkatkan keselamatan kendaraan dan mencegah kecelakaan yang



disebabkan oleh kondisi ban. Dalam penelitian selanjutnya, para peneliti berencana untuk membuat sistem pemantauan dan prediksi tekanan dan suhu ban menggunakan *machine learning*

## 5. Daftar Pustaka

- [1] J. M. S. Waworundeng, D. Fernando Tiwow and L. M. Tulangi, "Air Pressure Detection System on Motorized Vehicle Tires Based on IoT Platform," 2019 1st International Conference on Cybernetics and Intelligent System (ICORIS), Denpasar, Indonesia, 2019, pp. 251-256, DOI: 10.1109/ICORIS.2019.8874904.
- [2] R. A. Setiawan and D. M. Midyanti, "Rancang Bangun Alat Monitoring Tekanan Angin Ban secara Real Time Menggunakan Metode Tsukamoto pada Kendaraan Roda Empat," Coding Jurnal Komputer dan Aplikasi, vol. 6, no. 3, pp. 2018. DOI: 10.26418/coding.v6i3.27441.
- [3] N. N. Hasan, A. Arif, M. Hassam, S. S. Ul Husnain and U. Pervez, "Implementation of Tire Pressure Monitoring System with wireless communication," 2011 International Conference on Communications, Computing and Control Applications (CCCA), Hammamet, Tunisia, 2011, pp. 1-4, DOI: 10.1109/CCCA.2011.6031524.
- [4] N. E. Setiawan, S. Winardi, and K. Eko, "Pendeteksi Tekanan Udara Ban pada Kendaraan Bermotor untuk Safety Riding," Prosiding Seminar Nasional Santika, pp. 68-73, 4-5 Sept. 2019.
- [5] A. Abbi and T. Ramakrishnaiah, "Tyre Pressure Monitoring System," IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 2021, pp. 1-7, DOI: 10.1088/1757-899X/1042/1/012024.
- [6] Z. Fuqiang, W. Shaohong, W. Yintao, and Z. Xu, "Indirect Tire Pressure Monitoring System Based on Tire Vertical Stiffness", IEEE 12th International Conference on Electronic Measurement & Instruments ICEMI' 2015, pp. 100-104. DOI:10.1109/ICEMI.2015.7494213.
- [7] J. Zhao, J. Su, B. Zhu, and J. Shan, "An Indirect TPMS Algorithm Based on Tire Resonance Frequency Estimated by AR Model," SAE International Journal of Passenger Cars Mechanical Systems, vol. 9, no. 2016-01- 0459, pp. 99-106, 2016. DOI:10.4271/2016-01-0459.
- [8] Q. Xin, G. Jingfeng, G. Junjie, B. Ri, Y. Mingxing, and Z. Pian, "Automobile Tire Pressure Monitoring Technology and Development Trend", Journal of Physics: Conference Series, pp. 1-6, 2019. DOI 10.1088/1742-6596/1314/1/012100.
- [9] S. Kumar, P. Tiwari, and M. Zymbler, "Internet of Things is A Revolutionary Approach for Future Technology Enhancement: A Review," Journal of Big Data 6, vol. 6, no. 111, pp. 1-21. 2019. DOI:10.1186/s40537-019-0268-2.
- [10] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari and M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 4, pp. 2347-2376, Fourthquarter 2015, DOI: 10.1109/COMST.2015.2444095.
- [11] I. Yaqoob, E. Ahmed, I. A. T. Hashem, A. I. A. Ahmed, A. Gani, M. Imran, and M. Guizani, "Internet of Things Architecture: Recent Advances, Taxonomy, Requirements, and Open Challenges," IEEE Wireless Communications, vol. 24, no. 3, pp. 10-16, 2017. DOI:10.1109/MWC.2017.1600421.
- [12] Y. -P. E. Wang et al., "A Primer on 3GPP Narrowband Internet of Things," in IEEE Communications Magazine, vol. 55, no. 3, pp. 117-123, Mar. 2017, DOI: 10.1109/MCOM.2017.1600510CM.
- [13] D. Manickam and K. B. Bhaskar, "IOT Based Real Time Measurement of Temperature for Inverter Using Low Cost Node Microcontroller", International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology (IJARSCT), vol.9, issue 5, Sept. 2020, pp. 150 -158.
- [14] J. D. Paiva, C. R. S. Junior, and A. L. Silva "IoT Application for Monitoring and Storage of Temperature History in Electric Motors", in Proceedings of the 11th International

- Conference on Sensor Networks (SENSORNETS 2022), pp. 121-128, 2022. DOI: 10.5220/0010818300003118.
- [15] A. Pangestu, I. Sodikin, M. Yusro, R. Sapundani, R. R. A. Hakim, and S. Wilyanti, "IoT-Based Tire Pressure Measurement by Using MSensor And Lm35 Sensor," "Conference: 2022 IEEE 8th International Conference on Computing, Engineering and Design (ICCED), pp. 1-4. July 2022. DOI:10.1109/ICCED56140.2022.10010355.