

## RANCANG BANGUN SISTEM DETEKSI DINI KERUSAKAN MESIN KENDARAAN MENGUNAKAN ALGORITMA ANALISIS DATA SENSOR BERBASIS MIKROKONTROLER

Canggih Ajika Pamungkas, Wachid Yahya

Politeknik Indonusa Surakarta  
JL. KH.. Samanhuji No.31, Bumi Laweyan, Surakarta  
[canggih@poltekindonusa.ac.id](mailto:canggih@poltekindonusa.ac.id)

### Abstrak

Kerusakan mesin kendaraan yang tidak terdeteksi sejak dini dapat menyebabkan penurunan performa, peningkatan biaya perawatan, serta risiko keselamatan pengguna kendaraan. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang mampu melakukan deteksi dini terhadap potensi kerusakan mesin secara efektif. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem deteksi dini kerusakan mesin kendaraan menggunakan algoritma analisis data sensor berbasis mikrokontroler sebagai solusi pemantauan kondisi mesin secara konseptual. Metode penelitian yang digunakan adalah rancang bangun dengan pendekatan perancangan sistem dan simulasi. Sistem dirancang dengan mengintegrasikan sensor suhu dan sensor getaran sebagai parameter utama, mikrokontroler sebagai pusat pengolahan data, serta algoritma analisis data berbasis aturan (rule-based) untuk mengklasifikasikan kondisi mesin. Tahapan penelitian meliputi analisis kebutuhan sistem, perancangan arsitektur sistem, perancangan algoritma analisis data sensor, serta simulasi dan pengujian fungsional menggunakan skenario kondisi mesin. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem mampu mengklasifikasikan kondisi mesin ke dalam kategori normal dan terindikasi kerusakan berdasarkan kombinasi kondisi sensor suhu dan getaran. Sistem memberikan peringatan dini ketika salah satu atau kedua parameter sensor berada pada kondisi tidak normal. Temuan ini menunjukkan bahwa rancangan sistem yang diusulkan memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai sistem deteksi dini kerusakan mesin kendaraan berbasis mikrokontroler.

**Kata kunci:** deteksi dini, kerusakan mesin kendaraan, sensor, mikrokontroler, analisis data.

### Abstract

Undetected vehicle engine damage can lead to decreased performance, increased maintenance costs, and safety risks for vehicle users. Therefore, a system capable of performing early detection of potential engine damage is required. This study aims to design an early detection system for vehicle engine damage using a microcontroller-based sensor data analysis algorithm as a conceptual solution for monitoring engine conditions. The research method employed is a design and development approach with a system design and simulation framework. The system is designed by integrating temperature and vibration sensors as the main parameters, a microcontroller as the data processing unit, and a rule-based data analysis algorithm to classify engine conditions. The research stages include system requirements analysis, system architecture design, sensor data analysis algorithm design, and functional simulation testing using predefined engine condition scenarios. The simulation results indicate that the system is able to classify engine conditions into normal and potential damage categories based on the combined conditions of temperature and vibration sensors. The system provides early warnings when one or both sensor parameters indicate abnormal conditions. These findings demonstrate that the proposed system design has the potential to be further developed as a microcontroller-based early detection system for vehicle engine damage.

**Keywords:** early detection, vehicle engine damage, sensors, microcontroller, data analysis.

### 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomotif yang semakin pesat menuntut adanya sistem pemantauan kondisi mesin kendaraan yang lebih efektif dan efisien. Mesin kendaraan

merupakan komponen vital yang sangat menentukan kinerja, keamanan, dan umur pakai kendaraan. Kerusakan mesin yang tidak terdeteksi sejak dini dapat menyebabkan penurunan performa, peningkatan konsumsi

bahan bakar, hingga risiko kecelakaan serta biaya perbaikan yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang mampu mendeteksi potensi kerusakan mesin kendaraan secara dini sebelum terjadi kerusakan yang lebih serius (Mahdinsyah and Wikanta 2022)

Pada umumnya, deteksi kerusakan mesin kendaraan masih dilakukan secara manual melalui pemeriksaan berkala di bengkel atau berdasarkan keluhan pengemudi setelah muncul gejala kerusakan. Metode ini memiliki keterbatasan karena bersifat reaktif dan sangat bergantung pada pengalaman teknisi, sehingga sering kali kerusakan baru diketahui setelah kondisi mesin berada pada tahap yang cukup parah. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya pendekatan yang lebih proaktif dengan memanfaatkan teknologi sensor dan sistem otomatis untuk memantau parameter mesin secara kontinu (Rizaldi et al. 2022).

Pemanfaatan sensor pada kendaraan memungkinkan pengambilan data penting seperti suhu mesin, getaran, dan kondisi gas buang yang dapat digunakan sebagai indikator awal terjadinya kerusakan. Data sensor tersebut selanjutnya dapat diolah menggunakan mikrokontroler untuk menghasilkan informasi kondisi mesin secara real-time (Yahya and Yulianto 2022). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sensor suhu radiator dapat digunakan sebagai parameter utama dalam mendeteksi potensi overheat yang berpotensi menyebabkan kerusakan mesin kendaraan (Mahdinsyah and Wikanta 2022). Selain itu, penggunaan sensor getaran juga terbukti mampu mengidentifikasi ketidakwajaran kerja mesin akibat keausan atau ketidakseimbangan komponen (Rizaldi et al., 2023).

Mikrokontroler berperan sebagai pusat pengendali dalam sistem monitoring kendaraan karena kemampuannya dalam mengolah data sensor, menjalankan algoritma analisis, serta memberikan keluaran berupa peringatan atau indikator kondisi mesin. Beberapa penelitian di Indonesia telah mengimplementasikan mikrokontroler seperti Arduino dan ESP32 dalam sistem monitoring kendaraan karena bersifat fleksibel, mudah dikembangkan, dan memiliki biaya implementasi yang relatif rendah (Fikroh and Syahririni 2024). Integrasi mikrokontroler dengan sensor memungkinkan perancangan sistem deteksi dini yang bersifat modular dan

adaptif terhadap berbagai kondisi mesin kendaraan.

Selain aspek perangkat keras, algoritma analisis data sensor memiliki peranan penting dalam menentukan keakuratan sistem deteksi dini. Pendekatan analisis berbasis aturan (rule-based) atau ambang batas (threshold) banyak digunakan dalam sistem monitoring kendaraan karena sederhana dan efektif untuk mendeteksi kondisi tidak normal berdasarkan nilai sensor tertentu. Penelitian yang dilakukan oleh (Siregar, Azmi, and Halim 2020) menunjukkan bahwa penggunaan logika berbasis aturan pada data suhu mesin mampu memberikan peringatan dini ketika kondisi mesin berada di luar batas normal. Pendekatan ini dinilai sesuai untuk sistem deteksi dini yang diimplementasikan pada mikrokontroler dengan keterbatasan sumber daya.

Beberapa penelitian sebelumnya juga telah mengembangkan sistem monitoring dan deteksi kerusakan mesin kendaraan menggunakan berbagai pendekatan. (Trinovat 2018) mengembangkan sistem electronic nose untuk mendeteksi kualitas oli dan kerusakan ring piston sebagai indikasi awal gangguan mesin. Sementara itu, (Rizaldi et al. 2022) merancang sistem monitoring kondisi kendaraan motor injeksi berbasis mikrokontroler yang mampu menampilkan parameter mesin sebagai bahan evaluasi kondisi kendaraan. Meskipun demikian, sebagian penelitian tersebut masih berfokus pada pemantauan parameter tertentu dan belum mengintegrasikan analisis data sensor secara komprehensif untuk deteksi dini kerusakan mesin.

Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan suatu perancangan sistem yang mampu mengintegrasikan sensor, mikrokontroler, dan algoritma analisis data sensor untuk mendeteksi potensi kerusakan mesin kendaraan secara dini. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun prototype sistem deteksi dini kerusakan mesin kendaraan berbasis mikrokontroler dengan memanfaatkan analisis data sensor. Sistem yang dirancang diharapkan dapat menjadi solusi awal dalam pengembangan teknologi monitoring kendaraan yang lebih cerdas, efektif, dan aplikatif untuk mendukung perawatan mesin kendaraan secara preventif.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

a. Sistem Deteksi Dini Kerusakan Mesin Kendaraan

Sistem deteksi dini kerusakan mesin kendaraan merupakan suatu sistem yang dirancang untuk mengidentifikasi potensi gangguan atau ketidakwajaran pada kondisi mesin sebelum terjadi kerusakan yang lebih serius. Deteksi dini dilakukan dengan memantau parameter penting mesin, seperti suhu, getaran, dan kondisi gas buang, yang dapat dijadikan indikator awal terjadinya kerusakan. Pendekatan ini bersifat preventif sehingga mampu mengurangi risiko kerusakan besar serta menekan biaya perawatan kendaraan (Mahdinsyah and Wikanta 2022).

Penelitian mengenai deteksi dini kerusakan mesin telah banyak dikembangkan dengan memanfaatkan teknologi sensor dan sistem otomasi. (Trinovat 2018) menyatakan bahwa perubahan kondisi fisik mesin, seperti kualitas oli dan gas yang dihasilkan, dapat menjadi sinyal awal terjadinya kerusakan pada komponen internal mesin. Dengan demikian, sistem deteksi dini sangat penting dalam mendukung perawatan mesin kendaraan secara berkelanjutan dan efisien.

b. Sensor pada Sistem Monitoring Kendaraan

Sensor merupakan komponen utama dalam sistem monitoring kendaraan yang berfungsi untuk menangkap data kondisi fisik mesin. Beberapa sensor yang umum digunakan dalam sistem deteksi kerusakan mesin kendaraan antara lain sensor suhu, sensor getaran, dan sensor gas. Sensor suhu digunakan untuk memantau kondisi panas mesin yang berlebihan (*overheating*), sedangkan sensor getaran digunakan untuk mendeteksi ketidakseimbangan atau keausan komponen mesin (Rizaldi et al., 2023).

Penelitian yang dilakukan oleh (Rizaldi et al. 2022) menunjukkan bahwa data sensor yang diperoleh dari mesin kendaraan dapat memberikan gambaran kondisi kerja mesin secara menyeluruh apabila diolah dengan baik. Selain itu, penggunaan sensor yang terintegrasi memungkinkan sistem untuk melakukan pemantauan secara

kontinu tanpa harus menunggu adanya keluhan dari pengguna kendaraan. Hal ini menjadikan sensor sebagai elemen penting dalam sistem deteksi dini kerusakan mesin.

c. Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan perangkat elektronik yang berfungsi sebagai pusat pengendali dalam suatu sistem tertanam (*embedded system*). Dalam sistem monitoring kendaraan, mikrokontroler digunakan untuk membaca data dari sensor, mengolah data tersebut, serta menghasilkan keluaran berupa indikator atau peringatan kondisi mesin. Mikrokontroler seperti Arduino dan ESP32 banyak digunakan karena memiliki arsitektur sederhana, mudah diprogram, dan biaya implementasi yang relatif rendah (Fikroh and Syahririni 2024).

Penggunaan mikrokontroler dalam sistem deteksi dini kerusakan mesin memungkinkan integrasi berbagai sensor dalam satu sistem terpadu. Menurut (Siregar, Azmi, and Halim 2020), mikrokontroler sangat efektif digunakan untuk aplikasi monitoring suhu mesin karena mampu menjalankan algoritma sederhana secara real-time. Dengan demikian, mikrokontroler menjadi komponen yang sangat relevan dalam perancangan sistem deteksi dini berbasis sensor.

d. Algoritma Analisis Data Sensor

Algoritma analisis data sensor berfungsi untuk mengolah data mentah yang diperoleh dari sensor menjadi informasi yang bermakna. Dalam sistem deteksi dini kerusakan mesin kendaraan, algoritma ini digunakan untuk menentukan apakah kondisi mesin berada dalam keadaan normal atau tidak normal berdasarkan nilai ambang batas tertentu. Pendekatan analisis berbasis aturan (*rule-based*) dan *threshold* sering digunakan karena mudah diimplementasikan pada mikrokontroler dengan keterbatasan sumber daya (Siregar, Azmi, and Halim 2020)

(Mahdinsyah and Wikanta 2022) menjelaskan bahwa penentuan ambang batas suhu mesin yang tepat dapat membantu sistem dalam memberikan peringatan dini terhadap potensi

kerusakan mesin. Selain itu, kombinasi beberapa parameter sensor yang dianalisis secara bersamaan dapat meningkatkan keakuratan sistem dalam mendeteksi kondisi tidak normal. Oleh karena itu, algoritma analisis data sensor menjadi bagian penting dalam sistem deteksi dini kerusakan mesin kendaraan.

e. Penelitian Terkait

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas pengembangan sistem monitoring dan deteksi kerusakan mesin kendaraan. (Mahdinsyah and Wikanta 2022) mengembangkan sistem deteksi dini berbasis sensor suhu radiator untuk mencegah kerusakan mesin akibat panas berlebih. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemantauan suhu mesin secara kontinu dapat membantu mengidentifikasi potensi kerusakan lebih awal.

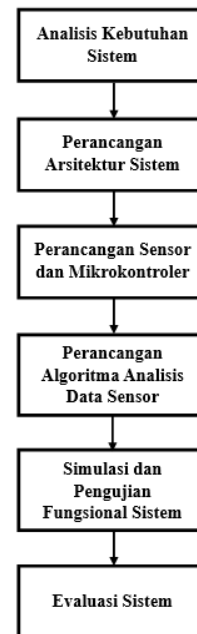
Penelitian lain oleh (Trinovat 2018) mengusulkan penggunaan *electronic nose* untuk mendeteksi kualitas oli sebagai indikator kerusakan ring piston. Sementara itu (Rizaldi et al. 2022) merancang sistem monitoring kondisi kendaraan motor injeksi berbasis mikrokontroler yang mampu menampilkan data sensor sebagai bahan evaluasi kondisi mesin. Meskipun demikian, sebagian penelitian tersebut masih berfokus pada pemantauan parameter tertentu dan belum mengintegrasikan analisis data sensor secara terpadu untuk deteksi dini kerusakan mesin kendaraan.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pengembangan sistem deteksi dini kerusakan mesin kendaraan berbasis sensor dan mikrokontroler masih memiliki peluang untuk dikembangkan, khususnya dalam hal perancangan sistem dan integrasi algoritma analisis data sensor yang lebih sistematis.

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun (research and development) yang berfokus pada perancangan prototype sistem deteksi dini kerusakan mesin kendaraan berbasis mikrokontroler dan analisis data sensor. Metode ini digunakan untuk menghasilkan rancangan sistem yang mampu

memantau kondisi mesin kendaraan serta memberikan peringatan dini berdasarkan data sensor yang dianalisis secara sistematis. Tahapan penelitian disusun sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Metode Penelitian

a. Analisis Kebutuhan Sistem

Tahap analisis kebutuhan sistem bertujuan untuk mengidentifikasi komponen dan fungsi utama yang diperlukan dalam sistem deteksi dini kerusakan mesin kendaraan. Analisis dilakukan melalui studi literatur terkait sistem monitoring kendaraan, penggunaan sensor, serta pemanfaatan mikrokontroler dalam aplikasi otomotif. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem perlu mampu membaca data sensor, mengolah data menggunakan mikrokontroler, serta memberikan peringatan dini apabila terdeteksi kondisi mesin tidak normal (Mahdinsyah and Wikanta 2022).

b. Perancangan Arsitektur Sistem

Perancangan arsitektur sistem dilakukan secara konseptual dengan mengintegrasikan sensor sebagai perangkat input, mikrokontroler sebagai pusat pengolah data, serta algoritma analisis data sensor sebagai penentu kondisi mesin. Data yang diperoleh dari sensor dianalisis oleh mikrokontroler untuk mengklasifikasikan kondisi mesin ke dalam kategori normal atau terindikasi kerusakan, kemudian

ditampilkan melalui indikator atau peringatan dini (Siregar, Azmi, and Halim 2020).

c. Perancangan Sensor dan Mikrokontroler

Sensor yang dirancang dalam sistem ini meliputi sensor suhu dan sensor getaran. Sensor suhu digunakan untuk memantau potensi panas berlebih pada mesin, sedangkan sensor getaran digunakan untuk mendeteksi ketidakwajaran getaran sebagai indikasi awal gangguan mesin. Mikrokontroler berfungsi untuk membaca dan mengolah data sensor serta menjalankan algoritma analisis data secara terpusat. Pemilihan mikrokontroler didasarkan pada kemudahan pemrograman dan fleksibilitas integrasi sensor (Fikroh and Syahririni 2024).

d. Perancangan Algoritma Analisis Data Sensor

Algoritma analisis data sensor dirancang menggunakan pendekatan rule-based dengan penentuan nilai ambang batas (*threshold*) berdasarkan referensi literatur. Data sensor dibandingkan dengan nilai ambang batas untuk menentukan kondisi mesin. Apabila nilai sensor berada dalam rentang normal, sistem menampilkan kondisi normal, sedangkan apabila melebihi ambang batas, sistem memberikan peringatan dini sebagai indikasi potensi kerusakan mesin (Siregar, Azmi, and Halim 2020).

e. Simulasi dan Pengujian Fungsional Sistem

Simulasi dan pengujian fungsional dilakukan untuk memastikan bahwa rancangan sistem dan algoritma dapat berjalan sesuai dengan fungsi yang diharapkan. Pengujian dilakukan menggunakan beberapa skenario kondisi mesin, seperti kondisi normal dan kondisi tidak normal, untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam membaca data sensor, menganalisis kondisi mesin, serta memberikan peringatan dini. Pengujian ini difokuskan pada evaluasi logika kerja sistem tanpa melakukan pengujian langsung pada kendaraan nyata (Mahdinsyah and Wikanta 2022).

f. Evaluasi Sistem

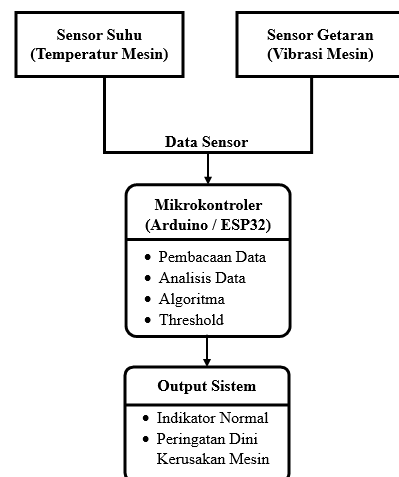
Tahap evaluasi dilakukan dengan menganalisis hasil simulasi dan pengujian fungsional untuk menilai kesesuaian rancangan sistem dengan tujuan penelitian. Evaluasi ini digunakan untuk mengidentifikasi kelebihan dan keterbatasan sistem yang dirancang serta sebagai dasar dalam penarikan kesimpulan dan rekomendasi pengembangan sistem pada penelitian selanjutnya (Fikroh and Syahririni 2024).

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini membahas hasil perancangan dan simulasi sistem deteksi dini kerusakan mesin kendaraan berbasis mikrokontroler dan analisis data sensor. Pembahasan difokuskan pada evaluasi fungsional sistem berdasarkan skenario kondisi mesin yang telah dirancang.

a. Hasil Perancangan Sistem

Hasil dari tahap perancangan adalah sebuah prototype konseptual sistem deteksi dini kerusakan mesin kendaraan yang terdiri dari sensor suhu, sensor getaran, mikrokontroler, algoritma analisis data sensor, serta indikator peringatan. Sistem dirancang untuk membaca data sensor secara periodik, kemudian mengolah data tersebut menggunakan mikrokontroler untuk menentukan kondisi mesin.



Gambar 2. Arsitektur Sistem Deteksi Dini Kerusakan Mesin Kendaraan

Arsitektur sistem pada Gambar 2 menunjukkan bahwa sensor suhu dan sensor getaran berfungsi sebagai perangkat input yang mengirimkan data ke mikrokontroler. Data tersebut selanjutnya dianalisis menggunakan

algoritma berbasis aturan untuk menentukan kondisi mesin, yang kemudian ditampilkan melalui indikator kondisi normal atau peringatan dini kerusakan mesin.

Secara konseptual, alur kerja sistem dimulai dari pembacaan data sensor suhu dan getaran, dilanjutkan dengan proses analisis menggunakan algoritma berbasis aturan (*rule-based*), dan diakhiri dengan penentuan kondisi mesin, yaitu normal atau terindikasi kerusakan. Rancangan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa integrasi sensor dan mikrokontroler efektif digunakan dalam sistem monitoring kendaraan (Rizaldi et al. 2022).

b. Hasil Simulasi Algoritma Analisis Data Sensor

Simulasi algoritma analisis data sensor dilakukan dengan menggunakan beberapa skenario kondisi mesin berdasarkan variasi nilai sensor. Nilai sensor suhu dan getaran dibandingkan dengan nilai ambang batas yang telah ditentukan berdasarkan referensi literatur.

Tabel 1. Hasil Simulasi Sistem Deteksi Dini Kerusakan Mesin Kendaraan

No	Kondisi Sensor Suhu	Kondisi Sensor Getaran	Hasil Analisis Sistem
1	Normal	Normal	Mesin Normal
2	Tinggi	Normal	Peringatan Dini
3	Normal	Tinggi	Peringatan Dini
4	Tinggi	Tinggi	Indikasi Kerusakan

Pada simulasi kondisi normal, sensor suhu dan getaran berada dalam kondisi wajar sehingga sistem mengklasifikasikan mesin dalam kondisi normal. Sebaliknya, ketika salah satu atau kedua sensor berada pada kondisi tidak normal, sistem memberikan peringatan dini sebagai indikasi potensi kerusakan mesin. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa algoritma *threshold* mampu mengklasifikasikan kondisi mesin secara logis dan konsisten, sebagaimana

dijelaskan oleh (Siregar, Azmi, and Halim 2020).

c. Pengujian Fungsional Sistem

Pengujian fungsional dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam menjalankan fungsi utama sesuai dengan rancangan. Pengujian difokuskan pada tiga aspek, yaitu pembacaan data sensor, proses analisis data, dan respons sistem terhadap kondisi tidak normal.

Berdasarkan hasil pengujian fungsional melalui simulasi skenario, sistem mampu membaca nilai sensor secara berurutan, memproses data menggunakan algoritma yang dirancang, serta memberikan keluaran berupa indikator kondisi mesin. Ketika nilai sensor melebihi ambang batas, sistem secara konsisten memberikan peringatan dini. Hal ini menunjukkan bahwa secara fungsional, sistem telah memenuhi tujuan perancangan sebagai sistem deteksi dini kerusakan mesin kendaraan (Mahdinsyah and Wikanta 2022).

d. Pembahasan

Berdasarkan hasil perancangan arsitektur sistem yang ditunjukkan pada Gambar 2, sistem deteksi dini kerusakan mesin kendaraan dirancang dengan mengintegrasikan sensor suhu dan sensor getaran sebagai perangkat input, mikrokontroler sebagai pusat pengolahan data, serta output sistem berupa indikator kondisi mesin. Arsitektur ini memungkinkan sistem untuk memantau kondisi mesin kendaraan secara konseptual melalui data sensor yang dianalisis menggunakan algoritma berbasis aturan.

Untuk mengevaluasi fungsi sistem, dilakukan simulasi menggunakan beberapa skenario kondisi sensor sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Pada kondisi normal, ketika sensor suhu dan sensor getaran berada dalam kondisi wajar, sistem mengklasifikasikan mesin dalam kondisi normal. Sebaliknya, ketika salah satu sensor menunjukkan kondisi tidak normal, sistem memberikan peringatan dini sebagai indikasi awal adanya potensi kerusakan mesin.

Pada skenario di mana kedua sensor menunjukkan kondisi tidak normal secara bersamaan, sistem mengklasifikasikan kondisi mesin sebagai indikasi kerusakan. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa sistem mampu membedakan kondisi mesin berdasarkan kombinasi data sensor secara logis dan konsisten. Dengan demikian, rancangan sistem yang diusulkan memiliki potensi untuk digunakan sebagai dasar pengembangan sistem deteksi dini kerusakan mesin kendaraan berbasis mikrokontroler.

## 5. PENUTUP

Berdasarkan hasil perancangan dan simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem deteksi dini kerusakan mesin kendaraan berbasis mikrokontroler dan analisis data sensor berhasil dirancang secara konseptual. Sistem ini mengintegrasikan sensor suhu dan sensor getaran sebagai parameter utama dalam mendeteksi kondisi mesin kendaraan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa algoritma analisis data sensor berbasis aturan (*rule-based*) mampu mengklasifikasikan kondisi mesin ke dalam kategori normal dan terindikasi kerusakan secara logis dan konsisten.

Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan rancang bangun berbasis mikrokontroler memiliki potensi untuk digunakan sebagai dasar pengembangan sistem deteksi dini kerusakan mesin kendaraan. Meskipun penelitian ini masih terbatas pada tahap perancangan dan simulasi, konsep sistem yang diusulkan dapat dikembangkan lebih lanjut melalui implementasi langsung pada kendaraan nyata serta penambahan parameter sensor dan metode analisis data yang lebih kompleks agar sistem mampu memberikan hasil deteksi yang lebih akurat dan komprehensif.

## 6. REFERENSI

Fikroh, Ubaidillah, and Syamsudduha Syahririni. 2024. "Sensor Arduino Mengungkap Fluktuasi Kompresi Yang Didorong Oleh Suhu Pada Mesin Kendaraan." 2024.

Mahdinsyah, and Prasaja Wikanta. 2022. "Pencegahan Dini Kerusakan Mesin Dengan Sistem Deteksi Suhu Radiator Mobil," no. June, 3–7.

Rizaldi, Dwiki Maulana, Arief Wisaksono, Dwi Hadidjaja, Rasjid Saputra, and Akhmad Ahfas. 2022. "IoT-Based Car Monitoring Engine Mounting Design Rancang Bangun Monitoring Engine Mounting ( Bantalan Mesin ) Mobil Berbasis IoT" 2 (2).

Siregar, Dongaran L, Zulfian Azmi, and Jufri Halim. 2020. "Monitoring Suhu Panas Mesin Kendaraan Dengan Logika Fuzzy," no. x, 1–11.

Trinovat, Fachri. 2018. "RANCANG BANGUN SISTEM Pengereman OTOMATIS DAN BLIND SPOT WARNING PADA SEPEDA MOTOR."

Yahya, Wachid, and David Dwi Yulianto. 2022. "Uji Konektifitas Smart Security Control Pada Sepeda Motor Menggunakan Arduino Nano Dan App Inventor 2" 07 (September): 45–50.