

Perancangan Sistem IoT Untuk Monitoring Getaran dan Stress Pada Kanopi Rumah Berbasis ESP32

Design and Development of an ESP32-Based IoT System for Monitoring Vibrations and Structural Stress on Residential Roofs

Raushan Dhamir¹, Mhd. Basri²

Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Program Studi Teknologi Informasi
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

E-mail: darthradar17@gmail.com¹, mhd.basri@umsu.ac.id²

Abstrak

Perkembangan Internet of Things (IoT) memungkinkan sistem monitoring dilakukan secara real-time dan berkelanjutan. Struktur ringan seperti atap atau kanopi rumah memiliki kerentanan terhadap perubahan kondisi akibat pengaruh lingkungan dan beban, namun pemantauan umumnya masih dilakukan secara manual sehingga sulit mendeteksi perubahan secara dini. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring struktur kanopi berbasis IoT menggunakan ESP32 dengan integrasi sensor getaran MPU6050, load cell dengan modul HX711, serta sensor suhu dan kelembaban DHT22. Data hasil pengukuran dikirimkan melalui jaringan WiFi ke server untuk disimpan dalam database dan divisualisasikan pada dashboard berbasis web. Selain itu, data sensor diolah menggunakan metode Indeks Potensi Korosi Relatif (IPKR) yang dihitung berdasarkan parameter suhu, kelembaban, getaran, dan perubahan beban yang telah dinormalisasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan akuisisi data, pengiriman, dan visualisasi secara real-time dengan baik. Sistem juga mampu memberikan indikator kondisi struktur melalui nilai IPKR yang diklasifikasikan menjadi kategori aman, waspada, dan bahaya. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat digunakan sebagai solusi monitoring awal untuk mendeteksi perubahan kondisi struktur ringan secara lebih efektif dan informatif.

Kata Kunci: *Internet of Things, Monitoring Struktur, ESP32, Getaran, IPKR*

Abstract

The development of Internet of Things (IoT) enables real-time and continuous monitoring systems. Lightweight structures such as house roofs or canopies are vulnerable to environmental and load changes, yet monitoring is still commonly performed manually, making early detection difficult. This study aims to design and implement an IoT-based canopy structure monitoring system using ESP32 integrated with an MPU6050 vibration sensor, a load cell with HX711 module, and a DHT22 temperature and humidity sensor. Measurement data are transmitted via WiFi to a server for database storage and visualization through a web-based dashboard. Furthermore, the collected data are processed using the Relative Corrosion Potential Index (IPKR), calculated based on normalized parameters including temperature, humidity, vibration, and load variation. The results show that the system is capable of performing real-time data acquisition, transmission, and visualization effectively. The system also provides structural condition indicators based on IPKR values classified into safe, warning, and danger categories. Therefore, the developed system can serve as an effective and informative early monitoring solution for detecting changes in lightweight structure conditions.

Key Words: *Internet of Things, Structural Monitoring, ESP32, Vibration, IPKR*

1. Pendahuluan

Struktur ringan seperti atap dan kanopi rumah merupakan bagian bangunan yang berfungsi melindungi penghuni dari pengaruh lingkungan seperti panas, hujan, dan angin. Meskipun tidak termasuk struktur utama, kondisi struktur ringan tetap berperan penting terhadap keselamatan dan kenyamanan penghuni. Struktur ini memiliki karakteristik respons yang relatif sensitif terhadap perubahan beban dan getaran, sehingga berpotensi mengalami penurunan kinerja apabila tidak dilakukan pemantauan secara memadai [1], [2].

Dalam kondisi operasional, struktur kanopi mengalami kombinasi beban statik dan dinamis. Beban statik dapat berasal dari berat material, genangan air hujan, serta akumulasi kotoran, sedangkan beban dinamis umumnya berasal dari angin dan hujan yang menyebabkan getaran pada struktur. Interaksi antara kedua jenis beban tersebut dapat mempengaruhi kondisi struktur secara keseluruhan, terutama pada struktur ringan yang memiliki tingkat kekakuan lebih rendah dibandingkan struktur utama [3].

Pada praktiknya, pemantauan kondisi struktur ringan masih dilakukan secara konvensional melalui inspeksi visual. Pendekatan ini bersifat reaktif dan tidak mampu mendeteksi perubahan kondisi secara dini, khususnya perubahan kecil yang terjadi secara bertahap. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa metode konvensional memiliki keterbatasan dalam memberikan informasi awal terkait potensi kerusakan, sehingga diperlukan sistem monitoring berbasis sensor yang mampu bekerja secara otomatis dan berkelanjutan [4].

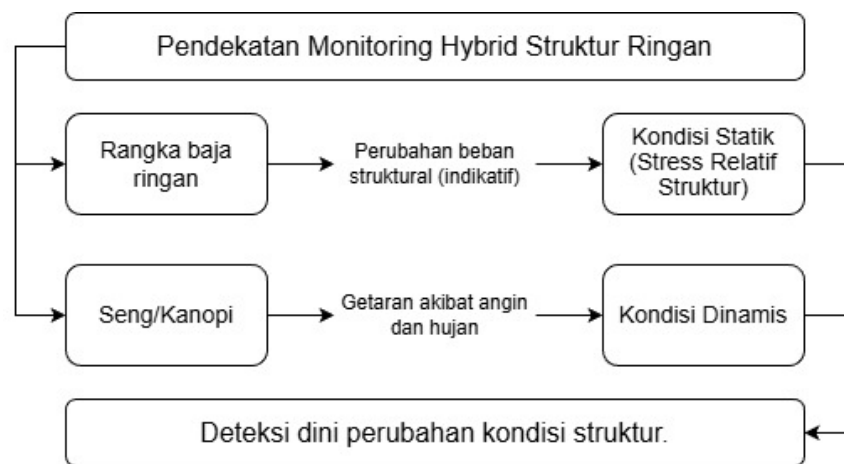
Perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* memungkinkan integrasi antara sensor, mikrokontroler, dan jaringan komunikasi untuk menghasilkan sistem monitoring yang *real-time* dan terdistribusi. Penerapan *IoT* dalam sistem monitoring telah terbukti mampu meningkatkan efisiensi pengumpulan data serta mempermudah visualisasi informasi melalui dashboard berbasis web [5], [6]. Dalam konteks monitoring struktur, penggunaan sensor getaran dan sensor beban menjadi pendekatan yang umum digunakan untuk merepresentasikan kondisi dinamis dan statik suatu struktur [7].

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian terkait *structural health monitoring* berbasis *Internet of Things (IoT)* menunjukkan perkembangan signifikan, khususnya melalui pemanfaatan sensor berbiaya rendah dan sistem komunikasi nirkabel. Penelitian oleh Kim et al. menunjukkan bahwa sensor getaran berbasis MEMS mampu memberikan akurasi yang baik dalam mendeteksi perubahan kondisi struktur secara *real-time* [6]. Selain itu, Xu et al. menjelaskan bahwa analisis data getaran merupakan pendekatan utama dalam mendeteksi kerusakan dini pada struktur sipil [1]. Studi lain juga menegaskan bahwa integrasi multi-sensor, seperti sensor lingkungan dan beban, mampu meningkatkan akurasi interpretasi kondisi struktur dibandingkan pendekatan tunggal [3], [7]. Oleh karena itu, integrasi multi-parameter menjadi pendekatan penting dalam pengembangan sistem monitoring yang lebih komprehensif.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring berbasis *IoT* dengan fokus pada parameter tertentu, seperti getaran atau beban saja. Namun, pendekatan tersebut belum mampu memberikan gambaran kondisi struktur secara menyeluruh karena tidak mengombinasikan berbagai parameter

yang saling berkaitan [6]. Selain itu, sebagian besar sistem monitoring hanya menampilkan data mentah tanpa memberikan indikator analitis yang dapat membantu interpretasi kondisi struktur.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan sistem monitoring struktur kanopi berbasis *IoT* dengan pendekatan hybrid yang mengombinasikan sensor getaran, sensor beban, serta sensor lingkungan dalam satu sistem terintegrasi. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali dan memanfaatkan jaringan WiFi untuk pengiriman data secara *real-time*. Selain itu, penelitian ini mengembangkan metode Indeks Potensi Korosi Relatif (IPKR) sebagai indikator analitis yang dihitung berdasarkan parameter suhu, kelembaban, getaran, dan perubahan beban yang telah dinormalisasi.



Gambar 1. Konsep Monitoring Struktur Berbasis *IoT*

Kontribusi utama dari penelitian ini adalah pengembangan sistem monitoring berbasis *IoT* yang tidak hanya mampu mengakuisisi dan menampilkan data secara *real-time*, tetapi juga memberikan indikator kondisi struktur melalui pendekatan indeks berbasis data sensor. Dengan adanya sistem ini, diharapkan proses monitoring struktur ringan dapat dilakukan secara lebih efektif serta mampu mendukung deteksi dini terhadap perubahan kondisi yang berpotensi menimbulkan kerusakan.

2. Metodologi Penelitian

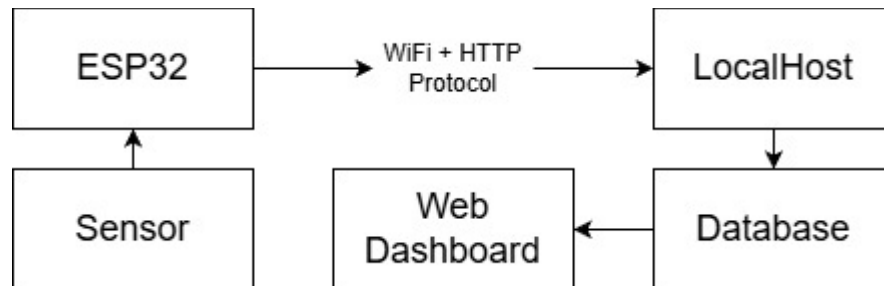
Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan rancang bangun sistem berbasis *Internet of Things (IoT)*. Sistem yang dikembangkan bertujuan untuk memonitor kondisi struktur kanopi secara *real-time* dengan mengintegrasikan beberapa sensor dalam satu platform terpusat.

Pendekatan sistem berbasis *Internet of Things (IoT)* dalam penelitian ini mengacu pada konsep integrasi sensor, mikrokontroler, dan komunikasi jaringan untuk monitoring secara *real-time* [5].

2.1. Arsitektur Sistem

Sistem monitoring terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu sensor getaran MPU6050, sensor beban berupa load cell yang terhubung dengan modul HX711,

serta sensor suhu dan kelembaban DHT22. Seluruh sensor diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pengendali dan pengirim data melalui jaringan WiFi ke server. Data yang diterima kemudian disimpan dalam database dan ditampilkan melalui dashboard berbasis web.



Gambar 2. Arsitektur Sistem Monitoring Berbasis IoT

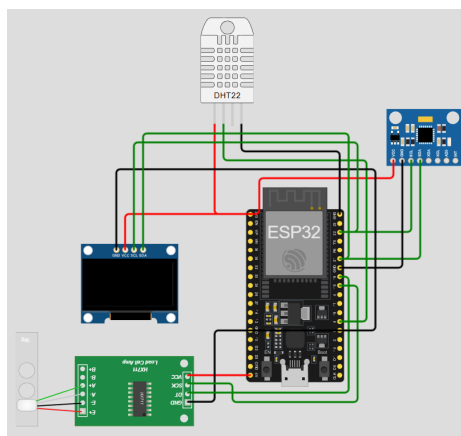
2.2. Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam sistem ini meliputi ESP32 sebagai mikrokontroler utama, sensor MPU6050 untuk mendeteksi getaran, load cell dengan modul HX711 untuk mengukur perubahan beban, serta sensor DHT22 untuk membaca suhu dan kelembaban lingkungan. Seluruh komponen dihubungkan sesuai dengan konfigurasi pin yang telah dirancang untuk memastikan kestabilan komunikasi data antar perangkat.

Tabel 1. Spesifikasi Perangkat Keras Sistem

NO	Nama Komponen	Spesifikasi	Jumlah
1	ESP32+Base Board	Mikrokontroler WiFi	1 buah
2	MPU6050	Sensor accelerometer & gyroscope	1 buah
3	Load Cell	Kapasitas 5 kg	1 buah
4	HX711	Modul ADC load cell	1 buah
5	DHT22	Sensor suhu & kelembaban	1 buah
6	OLED	0.96inch I2C	1 buah
7	Kabel jumper	Penghubung rangkaian	Secukupnya

Sumber: Hasil Penelitian (2025)



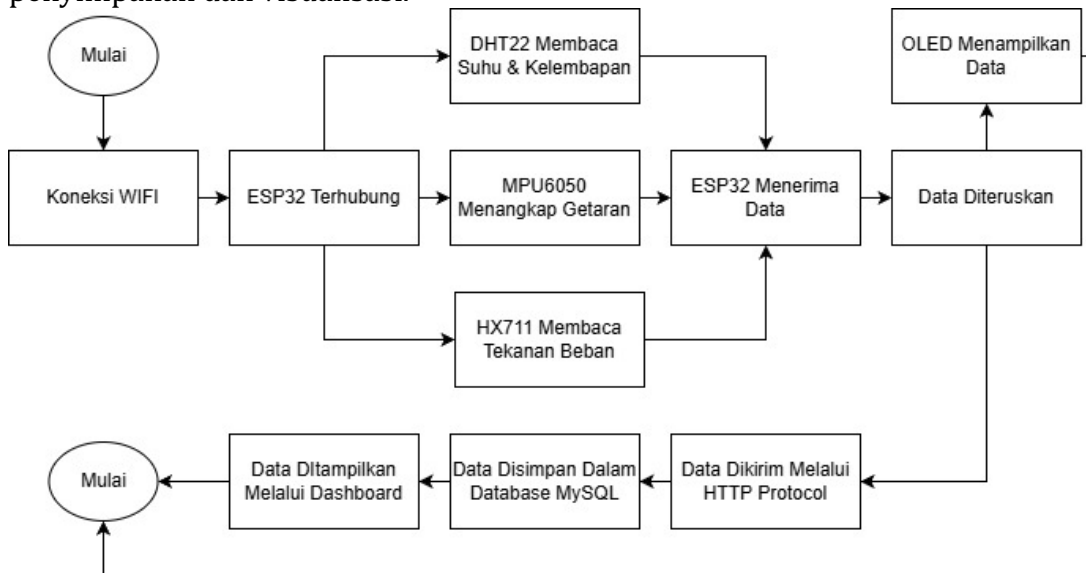
Gambar 3. Rangkaian Sistem pada Simulasi Wokwi

2.3. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak sistem dikembangkan menggunakan Arduino IDE untuk pemrograman ESP32, serta bahasa pemrograman berbasis web untuk pengelolaan server dan database. ESP32 membaca data dari sensor, kemudian mengirimkan data tersebut ke server melalui protokol HTTP. Data yang diterima akan disimpan dalam *database* MySQL dan ditampilkan pada dashboard monitoring berbasis web.

2.4. Alur Kerja Sistem

Sistem diawali dengan proses inialisasi perangkat dan koneksi WiFi. Setelah terhubung, ESP32 membaca data dari sensor getaran, beban, serta suhu dan kelembaban secara berkala. Data tersebut kemudian diproses dan ditampilkan pada layar OLED sebagai monitoring lokal, serta dikirimkan ke server untuk penyimpanan dan visualisasi.



Gambar 4. Flowchart Sistem Monitoring

2.5. Metode Perhitungan Indeks Potensi Korosi Relatif (IPKR)

Untuk memberikan indikator kondisi struktur, digunakan metode Indeks Potensi Korosi Relatif (IPKR). Sebelum dilakukan perhitungan, data sensor dinormalisasi menggunakan metode *min-max normalization* agar seluruh parameter berada pada skala yang sama [8].

$$x' = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

Setelah proses normalisasi, nilai IPKR dihitung berdasarkan kombinasi parameter suhu, kelembaban, getaran, dan perubahan beban dengan metode pembobotan.

$$IPKR = (w_T T + w_H H + w_V V + w_B B) \times 100$$

Nilai IPKR kemudian diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu aman, waspada, dan bahaya untuk mempermudah interpretasi kondisi struktur.

Tabel 2. Klasifikasi Nilai IPKR

No	Rentang Nilai IPKR	Kategori Risiko
1	0 – 60	Risiko Aman
2	60 – 80	Risiko Waspada
3	80 – 100	Risiko Bahaya

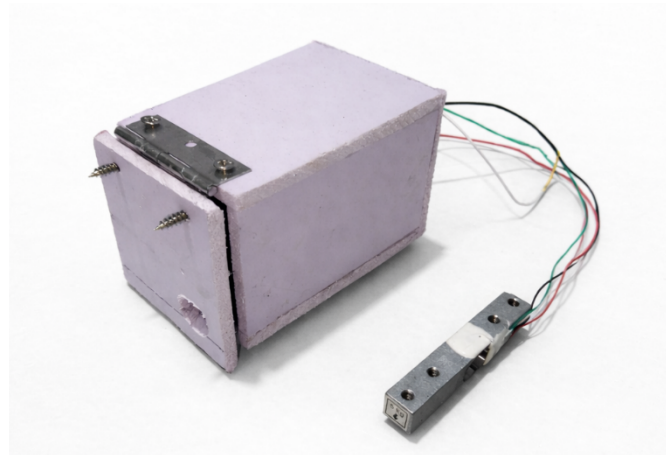
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Pendekatan berbasis parameter lingkungan seperti suhu dan kelembaban telah banyak digunakan dalam analisis potensi korosi material [9], [10].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Implementasi Sistem

Sistem monitoring yang dikembangkan diimplementasikan pada struktur kanopi rumah dengan menempatkan seluruh komponen dalam satu *housing* yang terpasang pada bagian bawah permukaan kanopi. Sensor MPU6050 digunakan untuk mendeteksi getaran pada permukaan atap, sedangkan load cell dipasang pada rangka struktur untuk mengukur perubahan beban sebagai indikator stress relatif. Sensor DHT22 digunakan untuk memantau kondisi suhu dan kelembaban lingkungan di sekitar kanopi.



Gambar 5. Implementasi Perangkat Monitoring

3.2. Pengujian Sensor

a. Pengujian Sensor Getaran (MPU6050)

Pengujian dilakukan dengan mengamati perubahan nilai percepatan pada kondisi tanpa getaran dan saat terjadi getaran. Hasil menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan percepatan secara signifikan, sehingga dapat digunakan sebagai indikator kondisi dinamis struktur.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Getaran

No	X (m/s ²)	Y (m/s ²)	Z (m/s ²)	Total Acc (m/s ²)	Getaran (m/s ²)
1	0.24	-0.11	-9.51	9.51	0.29
2	0.25	-0.13	-9.50	9.50	0.30
3	0.21	-0.12	-9.48	9.48	0.32
4	1.58	-0.54	-10.23	10.37	0.56
5	1.31	-0.05	-10.77	10.85	1.04
6	-13.44	4.27	-10.84	17.78	7.98

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

b. Pengujian Load Cell (HX711)

Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi beban pada sensor. Hasil menunjukkan bahwa sistem mampu membaca perubahan beban dengan stabil dan konsisten, sehingga dapat digunakan sebagai indikator perubahan stress relatif pada struktur.

Tabel 4. Hasil Pengujian Load Cell

No	Berat (kg)
1	0.94
2	0.94
3	1.51
4	1.85
5	1.82
6	1.87
7	1.07

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

c. Pengujian Sensor Lingkungan (DHT22)

Sensor DHT22 mampu membaca suhu dan kelembaban lingkungan secara stabil. Data yang dihasilkan digunakan sebagai parameter pendukung dalam analisis kondisi struktur dan perhitungan IPKR.

Tabel 5. Hasil Pengujian DHT22

No	Suhu (°C)	Kelembapan (%)
1	32.40	76.50
2	32.40	76.50
3	32.40	76.50
4	32.40	76.40
5	32.40	76.40
6	32.40	76.40

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

3.3. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan integrasi seluruh komponen berjalan dengan baik. Hasil menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pembacaan data dari seluruh sensor secara simultan, menampilkan data pada layar OLED, serta mengirimkan data ke server melalui jaringan WiFi.



Gambar 6. Tampilan Data Sensor pada OLED

3.4. Visualisasi Dashboard Monitoring

Data hasil monitoring ditampilkan dalam bentuk dashboard berbasis web yang memungkinkan pengguna memantau kondisi struktur secara real-time maupun historis. Dashboard menyediakan grafik perubahan data serta tabel monitoring untuk memudahkan analisis kondisi struktur.



Gambar 7. Dashboard Monitoring Struktur Kanopi

3.5. Analisis Nilai IPKR

Perhitungan IPKR dilakukan dengan mengolah data sensor yang telah dinormalisasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai IPKR berada pada kategori aman pada kondisi normal, dengan nilai rata-rata sekitar 36.

Tabel 6. Hasil Perhitungan IPKR

No	Suhu	Kelembaban	Getaran	Beban	IPKR	Kategori
1	32.6	77.5	0.36	0.14	36.325	Aman
2	32.6	77.5	0.26	0.13	36.1	Aman
3	32.6	77.5	0.26	0.14	36.2	Aman

4	32.6	77.5	0.32	0.13	36.175	Aman
5	32.6	77.5	0.33	0.13	36.1875	Aman
6	32.6	77.5	0.33	0.13	36.1875	Aman
7	32.6	77.6	0.32	0.14	36.3333	Aman

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Nilai IPKR yang dihasilkan digunakan sebagai indikator kondisi struktur yang divisualisasikan dalam bentuk bar status pada dashboard. Perubahan nilai IPKR akan mempengaruhi kategori kondisi yang ditampilkan, yaitu aman, waspada, atau bahaya.

Status Kondisi: 35.62 (Aman)



Gambar 8. Bar IPKR jika status aman

Status Kondisi: 68.45 (Waspada)



Gambar 9. Bar IPKR jika status waspada

Status Kondisi: 88.72 (Bahaya)



Gambar 10. Bar IPKR jika status bahaya

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem monitoring struktur kanopi berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan ESP32 berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan baik. Sistem mampu mengintegrasikan sensor getaran MPU6050, load cell dengan modul HX711, serta sensor suhu dan kelembaban DHT22 dalam satu platform monitoring yang bekerja secara *real-time*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap sensor dapat berfungsi sesuai dengan tujuan pengukuran, di mana sensor getaran mampu mendeteksi perubahan kondisi dinamis struktur, load cell mampu membaca variasi beban secara stabil, serta sensor lingkungan mampu memberikan data suhu dan kelembaban yang konsisten. Selain itu, sistem juga berhasil melakukan pengiriman data ke server serta menampilkan hasil monitoring melalui dashboard berbasis web secara informatif.

Metode Indeks Potensi Korosi Relatif (IPKR) yang diterapkan dalam penelitian ini mampu memberikan indikator kondisi struktur berdasarkan hasil pengolahan data sensor. Nilai IPKR yang dihasilkan dapat diklasifikasikan ke dalam kategori aman, waspada, dan bahaya, sehingga mempermudah interpretasi kondisi struktur secara keseluruhan.

Dengan demikian, sistem yang dikembangkan tidak hanya mampu melakukan monitoring secara *real-time*, tetapi juga memberikan informasi analitis yang dapat

digunakan sebagai dasar dalam mendeteksi perubahan kondisi struktur secara dini. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem dengan menambahkan metode analisis berbasis kecerdasan buatan untuk meningkatkan akurasi prediksi kondisi struktur. Pengembangan selanjutnya dapat mengarah pada integrasi metode kecerdasan buatan untuk meningkatkan kemampuan prediksi kondisi struktur secara lebih akurat dan adaptif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Xu, J. M. W. Brownjohn, and D. Hester, "Structural health monitoring of civil infrastructure using vibration data," *Engineering Structures*, vol. 198, 2019.
- [2] P. Kavre, et al., "Lightweight structure response under dynamic loading," *International Journal of Structural Engineering*, vol. 10, no. 2, pp. 145–153, 2019.
- [3] R. Kavre, et al., "Vibration monitoring techniques for lightweight structures," *Journal of Civil Engineering*, vol. 17, no. 3, pp. 301–309, 2019.
- [4] A. Carden and P. Fanning, "Vibration based condition monitoring: A review," *Structural Health Monitoring*, vol. 3, no. 4, pp. 355–377, 2004.
- [5] L. Da Xu, W. He, and S. Li, "Internet of Things in industries: A survey," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 10, no. 4, pp. 2233–2243, 2014.
- [6] J. Kim, H. Lee, and S. Park, "Vibration-based structural health monitoring using low-cost sensors," *Sensors*, vol. 20, no. 19, 2020.
- [7] R. Putra and A. Nugroho, "Sistem pengukuran beban menggunakan sensor load cell dan HX711," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 23–30, 2019.
- [8] K. Popova and T. Prošek, "Corrosion monitoring in atmospheric conditions: A review," *Metals*, vol. 12, no. 2, 2022.
- [9] M. Takeyama, S. Yamada, T. Yamashita, and T. Hoshino, "High-temporal-resolution corrosion monitoring in atmospheric conditions," *Sensors*, vol. 25, no. 1, 2025.
- [10] R. J. M. Mercado, M. Kabeer, H. Al-Obaidy, and R. Nordin, "Corrosion risk estimation for heritage preservation: An Internet of Things and machine learning approach," 2025.