

# Bangun Sistem Pemantauan Getaran Jembatan Berbasis IoT untuk Keamanan Struktur

<sup>1\*</sup> Arief Wisaksono, <sup>2</sup> Muhadzdzib Sayyidul Quthb  
<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo,  
<sup>1</sup> ariefwisaksono@umsida.ac.id, <sup>2</sup> Muhadzdzib@gmail.com

## Article Info

### Keyword:

Jembatan,  
getaran,  
database

Copyright © 2025 –SNTE  
All rights reserved

## ABSTRACT

Abstrak— Kondisi kesehatan jembatan merupakan hal yang harus diperhatikan. Salah satu faktor penyebab degradasi dari kondisi kesehatan jembatan adalah dengan adanya getaran yang disebabkan oleh kendaraan yang berlalu-lalang. Maka dari itu perlu dibuat sebuah sistem yang dapat memonitoring getaran yang dialami jembatan secara real-time dan dapat dilakukan pengawasan secara jarak jauh. Sistem yang dibuat menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pemroses data, sensor akselerometer dan giroskop MPU6050 untuk mendeteksi dan mengukur kecepatan getaran, dan Google Sheets sebagai sarana monitoring dan menyimpan data. Data yang diambil diklasifikasikan menjadi getaran yang dihasilkan per jenis kendaraan. Hasil yang didapat terukur tronton 1.87 m/s, truk 1.47 m/s, bus 0.4 – 0.97 m/s, dan mobil 0.11 – 0.39 m/s.

### Corresponding Author:

Arief Wisaksono,  
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.,  
Email: ariefwisaksono@umsida.ac.id

## I. PENDAHULUAN

Karena variasi ketinggian, keberadaan struktur lain, atau faktor lain, jembatan adalah struktur yang dibangun untuk membentang di dua situs yang berbeda. Beban berat dan volume lalu lintas yang tinggi dapat memperpendek umur struktur jembatan[1]. Oleh karena itu, pengawasan dan pemantauan kesehatan struktur jembatan diperlukan[2]. Sistem nirkabel memungkinkan untuk menyimpan data pemantauan secara otomatis tanpa memerlukan kontak fisik dengan perangkat, yang merampingkan proses pemantauan[3].

Karena kemampuannya untuk melacak, menilai, memperkirakan, dan melaporkan integritas struktur, Pemantauan Kesehatan Struktural / structural healthy monitoring system (SHMS) umumnya menjadi fokus dari berbagai studi di bidang manufaktur, teknik sipil, dan industri luar angkasa[4]. Saat membuat bangunan baru, aplikasi SHM digunakan pada interval yang telah ditentukan untuk mengambil informasi tentang proses manufaktur, fabrikasi, dan konstruksi yang memengaruhi keselamatan dan risiko pekerja setelah bangunan ditempatkan. Saat menilai status struktur yang ada, aplikasi SHM digunakan untuk memperkirakan berapa lama struktur akan bertahan sebelum tindakan tambahan diperlukan.

Getaran dari kendaraan yang lewat, dari kendaraan ringan seperti sepeda motor dan mobil pribadi hingga yang terisi penuh seperti truk container adalah salah satu alasan mengapa struktur jembatan menjadi kurang sehat[5]. Dalam sebuah studi oleh Hardono S, sensor akselerometer yang dipasang di bagian bawah

gelagar digunakan untuk mengukur getaran aktual pada jalan layang tol yang dihasilkan oleh eksitasi getaran lalu lintas. Prosesnya melibatkan perekaman getaran dan kemudian menggunakan data untuk membuat model formulir. Ditentukan dari data bahwa dimungkinkan untuk mengukur getaran jembatan tanpa menghentikan lalu lintas[6].

Sejumlah investigasi sebelumnya berfungsi sebagai dasar untuk penelitian yang lebih baik. Integrasi Sistem Monitoring Kesehatan Jembatan dengan Sistem Pengawasan Lalu Lintas merupakan judul penelitian yang dilakukan oleh Wibawa M.S. (2020). Dengan menggunakan Wireless Sensor Network (WSN) untuk mengumpulkan data, studi ini berupaya membantu dalam mengevaluasi bahaya keselamatan struktural yang dapat membahayakan struktur jembatan. Beban mobil yang lewat diukur dengan penelitian menggunakan sel beban. Setelah itu, data ditransfer ke Raspberry Pi dan selanjutnya ke database yang telah dihasilkan SunSpot pada node sink. Kemampuan sistem untuk mengukur frekuensi alami di dekat nilai Analisis Elemen Hingga (FEA) ditunjukkan oleh hasil, yang menunjukkan validitas sistem[7].

Penelitian lain, Desain dan Konstruksi Pemantauan Getaran Jembatan Rangka Baja Soekarno-Hatta Malang sebagai Penilaian Kondisi Bangunan Jembatan over the Web, dilakukan oleh Huda C. (2017)[8]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melacak getaran pada struktur jembatan, yang akan membantu layanan dan Unit Pelaksana Teknis (UPT) yang relevan menilai kinerja struktur dan memungkinkan penanganan lebih lanjut berdasarkan hasil identifikasi. Studi ini menggunakan WebServer sebagai pembaca data dan sensor akselerometer MMA7455 sebagai pengukur getaran. Menurut temuan penelitian, jembatan Soekarno-Hatta di Malang memiliki percepatan rata-rata 0,12 mm/detik dan frekuensi alami aktual 0,28 Hz[8].

## II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) melalui eksperimen laboratorium dengan pembuatan dan pengujian prototipe. Proses penelitian meliputi identifikasi masalah, perancangan, konstruksi, dan pengujian prototipe, serta evaluasi hasil untuk memastikan efektivitas dan kelayakannya sebelum diimplementasikan lebih lanjut.

Komponen

Komponen yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Esp32



Gambar 2. Mikrokontroler Esp32

Gambar 2 mengilustrasikan bentuk fisik mikrokontroler Esp32. ESP32 NodeMCU adalah mikrokontroler yang direkayasa untuk aplikasi Internet of Things berdaya rendah. Performa luar biasa dari dapur pacuan, dilengkapi dengan WiFi dan Bluetooth terintegrasi, membuat gadget ini optimal untuk inisiatif IoT portabel. Perbedaan utama antara Esp32 dan mikrokontroler yang lebih umum seperti Arduino adalah kemampuan Esp32 untuk berinteraksi dengan perangkat lain melalui modul WiFi dan Bluetooth terintegrasi[9].

2. MPU-6050



Gambar 3. Sensor Akselerometer MPU-6050

Gambar 3 mengilustrasikan sensor MPU-6050. Sensor di atas adalah gadget yang mengintegrasikan kemampuan gerak 6 sumbu, menggabungkan fungsionalitas akselerometer dan giroskop secara bersamaan. Sensor ini memiliki fitur Prosesor Gerak Digital yang terintegrasi ke papan. Data yang diperoleh disampaikan menggunakan I2C, memungkinkan perangkat untuk menerima semua informasi tanpa gangguan[10]. Selanjutnya, sensor ini dilengkapi dengan Digital Motion Processor (DMP) yang mampu memproses giroskop dan algoritma gerak akselerometer[10]. Sebuah studi oleh Mangkusasmito (2020) menunjukkan bahwa akurasi sensor MPU-6050 dapat ditingkatkan dengan metode koreksi faktor drift[11].

3. Modul Charger TP-4056



Gambar 4. Modul Charger TP-4056

Gambar 4 mengilustrasikan modul catu daya yang digunakan dalam penyelidikan. Catu daya berfungsi sebagai sumber energi untuk peralatan listrik. Penelitian ini menggunakan catu daya yang terdiri dari baterai isi ulang 18650 dengan tegangan 3.7V, terhubung ke modul pengisi daya TP4056, berfungsi sebagai pengisi daya baterai[12].

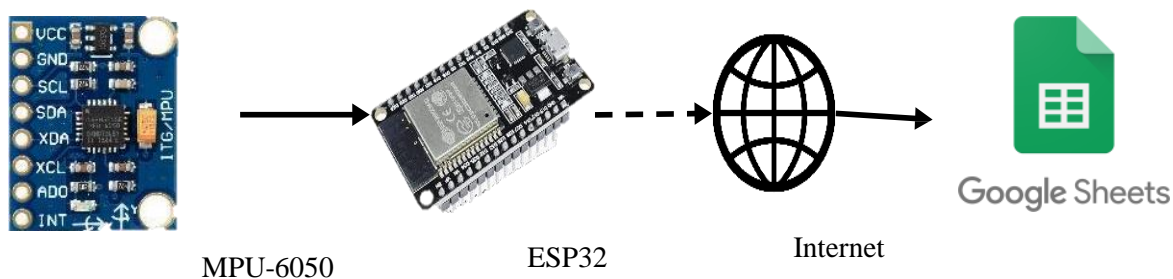
4. Google Sheets



Gambar 5. Logo Google Sheets

Gambar 5 menampilkan logo yang digunakan oleh aplikasi web Google Sheets. Google Spreadsheet adalah alat yang ditawarkan oleh Google untuk manipulasi numerik dan data. Google Sheets beroperasi mirip dengan Microsoft Excel, meskipun menawarkan fitur seperti konektivitas langsung ke server Google. Keuntungan ini dapat dimanfaatkan dengan mengembangkan WebApp yang kemudian akan mengintegrasikan proyek IoT dengan dokumen yang dihasilkan melalui Google Sheets[13].

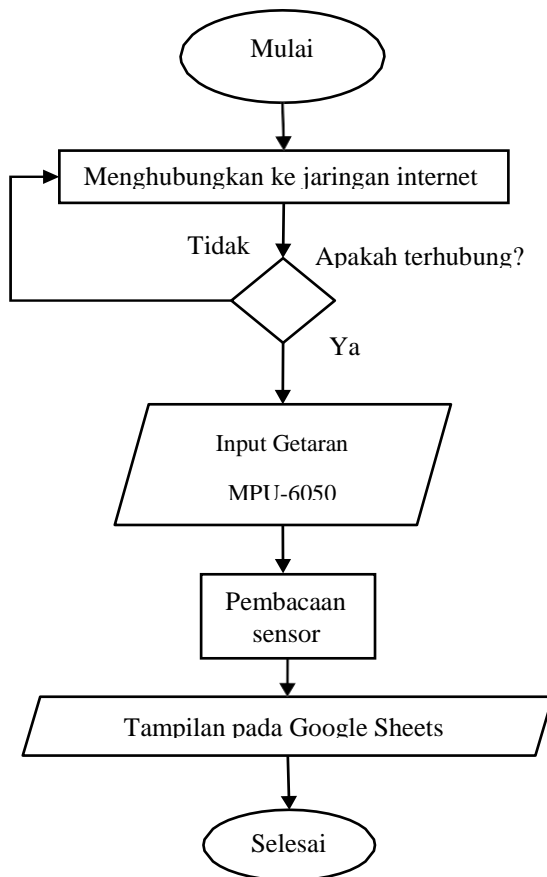
**Blok Diagram**



Gambar 6 Blok Diagram Sistem

Gambar 6 menyajikan diagram blok dari alat yang dikembangkan. Sensor MPU-6050 mengidentifikasi getaran posisi sebagai pergeseran posisi, setelah itu data yang diperoleh ditransmisikan secara serial ke mikrokontroler ESP32. Data yang dikumpulkan kemudian dikirimkan melalui server web ke Google Spreadsheet untuk diintegrasikan ke dalam database.

5. Flowchart Sistem

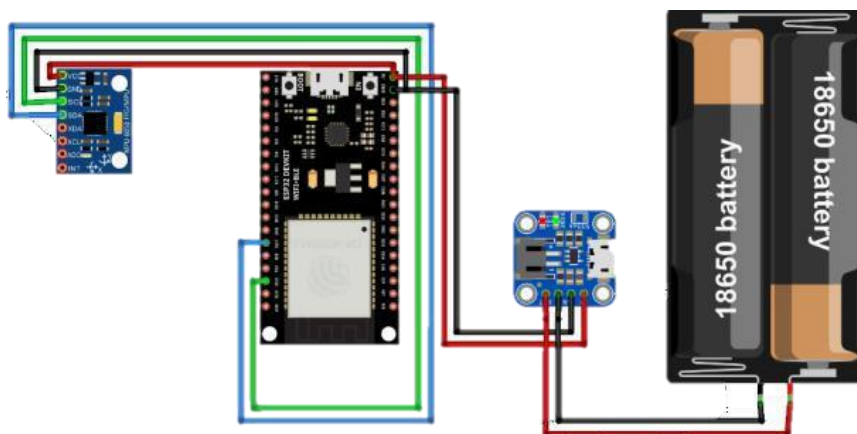


Gambar 7. Flowchart dari Sistem Monitoring

Gambar 7 mengilustrasikan alur eksekusi sistem seperti yang diwakili dalam diagram alur. Dimulai dengan desain perangkat keras dan prosedur mengunggah program menggunakan Arduino IDE ke papan ESP32, mikrokontroler kemudian mencoba membuat koneksi internet menggunakan modul WiFi yang disertakan dan koneksi hotspot. Sensor akselerometer MPU-6050 akan dimulai, diikuti dengan perolehan pembacaan getaran. Data yang diperoleh kemudian disimpan di Google Spreadsheet.

Perancangan Hardware

Sub-bab ini akan menggambarkan skema pengkabelan dan konfigurasi komponen yang digunakan. Pencitraan alat ini dibuat menggunakan perangkat lunak Fritzing



Gambar 8. Wiring Diagram

Gambar 8 mengilustrasikan konfigurasi pengkabelan alat yang dibangun. Fondasi sistem menggunakan mikrokontroler ESP32. Sensor terhubung ke ESP32 dengan pin SDA dan SCL, memungkinkan penggunaan fungsi serial I2C dan Wi-Fi secara bersamaan. Sumber dayanya adalah baterai atau USB.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Pembuatan Perangkat Keras

Setelah menyelesaikan pengembangan perangkat lunak dan kode, tahap selanjutnya adalah mengevaluasi perangkat keras yang digunakan. Pengujian dilakukan setelah perakitan semua komponen menjadi alat. Pengujian langsung sangat penting, karena alat ini memerlukan sistem yang sudah ada sebelumnya agar berfungsi secara efektif..



Gambar 9. Tampak Dalam Alat Setelah Perakitan

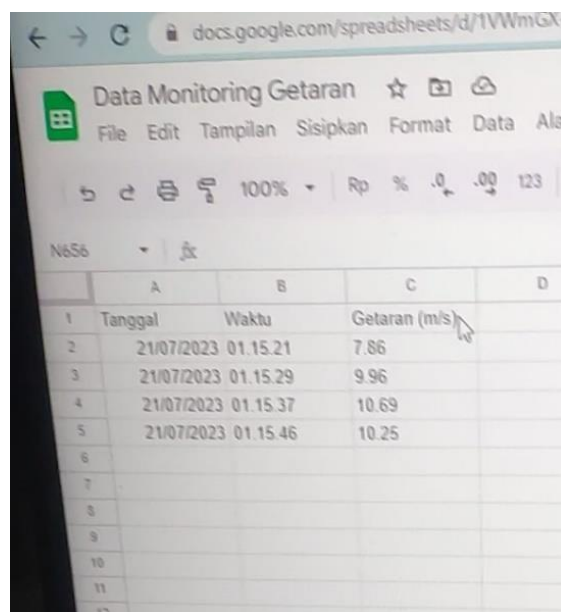
Gambar 9 mengilustrasikan gambaran komprehensif dari pasca-pemasangan alat pada PCB, saling berhubungan melalui kabel jumper, dan terbungkus di dalam rumah proyek. Sensor MPU6050 menerima sinyal getaran dan mengubahnya menjadi sinyal digital. Sinyal digital ditransmisikan ke ESP32 melalui dua kabel yang masing-masing terhubung ke pin SDA dan SCL. Data yang diperoleh oleh ESP32 ditransmisikan ke LCD menggunakan koneksi serial menggunakan pin SDA dan SCL. Baterai 3.7V 18650 berfungsi

sebagai catu daya, yang kemudian dinaikkan menjadi 5.2V melalui modul pengisi daya sebelum dipasang ke pin ESP32 VIN. ESP32 dilengkapi dengan regulator tegangan 3.3V yang memberikan daya ke sensor MPU6050 dan LCD 16x2.



Gambar 10. Tampak Luar Alat dan Percobaan

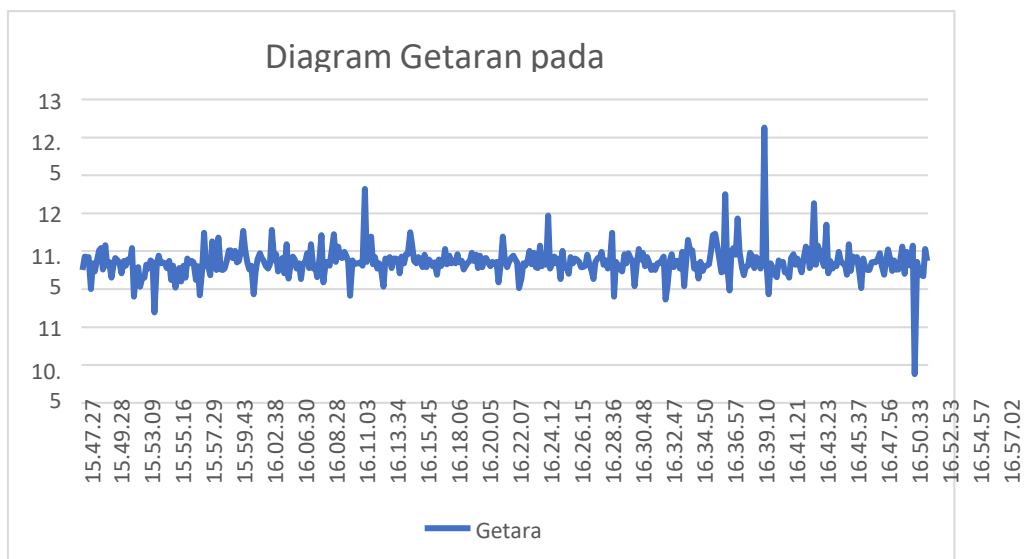
Gambar 10 menggambarkan alat yang ditujukan untuk tujuan pengujian. Pembacaan uji alat dan integrasinya dengan Google Spreadsheet dilakukan dengan menghubungkan gadget ke internet melalui Wi-Fi. Antarmuka Google Spreadsheet selanjutnya dapat diakses melalui perangkat komputasi. Hasil pembacaan segera didapatkan.



Gambar 11. Tampilan pada Google Sheets

Antarmuka Google Spreadsheet saat alat beroperasi digambarkan pada Gambar 11. Data yang dikirimkan ke database komprehensif disertai dengan tanggal dan waktu pengambilan. Getaran yang diperoleh kemudian diproses ulang menjadi diagram dan tabel untuk analisis lebih lanjut.

B. Pengolahan Data



Gambar 12. Diagram Grafik Pembacaan Alat

Gambar 12 menyajikan kumpulan data yang diilustrasikan oleh bagan garis. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk menentukan nilai rata-rata. Ini dijalankan untuk memfasilitasi pemrosesan lebih banyak data. Fungsi MEDIAN di Google Spreadsheet digunakan untuk menentukan nilai median, menghasilkan nilai tengah 10,85 m/s. Nilai median mewakili kecepatan getaran rata-rata ketika perangkat tidak bergerak dan tanpa getaran, tetap terlihat karena percepatan gravitasi yang berdampak pada pelat sensor.

Setelah memperoleh nilai median, nilai bacaan maksimum dapat dikejar. Karena getaran merupakan gelombang, angka yang kurang dari median juga dihitung sebagai kecepatan getaran. Kecepatan getaran kendaraan saat melintasi jembatan dapat dikategorikan dalam tabel berikut.:

Tabel 2. Kecepatan Getaran Jembatan saat Dilewati Kendaraan

No.	Kendaraan	Getaran Terbaca	Getaran Terhitung
1	Tronton	12,63 m/s	1,87 m/s
2	Truk	9,38 m/s	1,47 m/s
3	Bus	11,25 – 11,82 m/s	0,4 – 0,97 m/s
4	Mobil	10,96 – 11,24 m/s	0,11 – 0,39 m/s

Tabel menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara nilai getaran terbaca (hasil pengukuran lapangan) dan getaran terhitung (hasil perhitungan teoritis) untuk semua jenis kendaraan.

1. Tronton dan Truk

Nilai getaran terbaca pada tronton (12,63 m/s) dan truk (9,38 m/s) jauh lebih tinggi dibandingkan getaran terhitung (1,87 m/s dan 1,47 m/s). Selisih ini menegaskan bahwa model perhitungan teoritis hanya mencerminkan beban statis dan tidak sepenuhnya menangkap efek dinamis dari kendaraan berat.

2. Bus

Bus menghasilkan getaran terbaca dalam rentang 11,25 – 11,82 m/s, sedangkan perhitungan teoritis hanya 0,4 – 0,97 m/s. Hal ini menunjukkan perbedaan paling ekstrem, yang kemungkinan besar dipengaruhi oleh suspensi bus, distribusi beban, dan kecepatan saat melintas.

3. Mobil

Meskipun beban mobil jauh lebih kecil dibandingkan kendaraan berat, getaran terbaca tetap tinggi (10,96 – 11,24 m/s) sementara hasil perhitungan hanya 0,11 – 0,39 m/s. Perbedaan besar ini dapat diakibatkan oleh efek resonansi lokal jembatan serta faktor kecepatan kendaraan ringan yang relatif tinggi.

4. Pola Umum

Secara keseluruhan, grafik memperlihatkan bahwa nilai pengukuran lapangan konsisten berada pada kisaran 9–12 m/s untuk semua kendaraan, sementara hasil teoritis hanya berkisar 0,1–1,8 m/s. Hal ini menegaskan bahwa model perhitungan sederhana tidak cukup akurat dalam merepresentasikan perilaku dinamis jembatan.

#### IV. SIMPULAN

Sistem monitoring yang dirancang menggunakan sensor MPU6050 terbukti efektif dan operasional, mampu mengukur kecepatan getaran jembatan secara real time. Data hasil pengukuran dapat ditampilkan langsung pada LCD 16x2 serta direkam secara otomatis ke Google Sheets, sehingga mudah diakses melalui smartphone maupun komputer. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa getaran terhitung akibat kendaraan bervariasi, yaitu 1,87 m/s untuk tronton, 1,47 m/s untuk truk, 0,40–0,97 m/s untuk bus, dan 0,11–0,39 m/s untuk mobil. Namun, pengukuran lapangan memperlihatkan nilai yang jauh lebih tinggi (9–12 m/s) untuk semua jenis kendaraan. Perbedaan signifikan ini terutama terlihat pada bus dan mobil, yang mengindikasikan pengaruh faktor dinamis seperti suspensi kendaraan, kecepatan, kondisi permukaan, dan resonansi struktur jembatan. Secara umum, hasil penelitian menegaskan bahwa model teoritis tidak cukup merepresentasikan kondisi nyata, sehingga diperlukan kalibrasi model atau penerapan metode analisis dinamis yang lebih komprehensif untuk meningkatkan akurasi prediksi getaran jembatan.

#### Ucapan Terima Kasih

Bagian ini menyatakan ucapan terima kasih kepada pihak yang berperan dalam pelaksanaan kegiatan penelitian, misalnya laboratorium tempat penelitian. Peran donor atau yang mendukung penelitian disebutkan perannya secara ringkas.

#### REFERENSI

- [1] G. I. Simanjuntak, “Analisis Pengaruh Muatan Lebih (OverLoading) Terhadap Kinerja Jalan Dan Umur,” vol. 3, hal. 539–551, 2024.
- [2] A. Budiarto, A. Salam, dan H. Tashbir, “Implementasi Wireless Sensor Network pada Sistem Manajemen Kesehatan Struktur Jembatan,” *J. Telemat.*, vol. 19, no. 1, hal. 6–14, 2024, doi: 10.61769/telematika.v19i1.669.
- [3] M. Salim, *Mursalim E-Book Internet of Things IoT*. 2024.
- [4] R. Kurniawan, B. Susanti, dan Hanafiah, “Kajian Literatur Pemeliharaan Jembatan Yang Menggunakan Metode Structural Healthy Monitoring System (Shms),” *Semin. Nas. AVoER 15 Palembang, 10 – 11 Oktober 2023*, hal. 361–370, 2023.
- [5] A. Sunandar dan S. Y. Mulyani, “Evaluasi Pengaruh Getaran Kendaraan Truk dan Variasi Jarak terhadap Kerusakan Bangunan,” *J. Ilm. Rekayasa Sipil*, vol. 14, no. 2, hal. 11–19, 2017, doi:

10.30630/jirs.14.2.102.

- [6] U. Udianto dan P. Basuki, “Purwarupa Sistem Pemantau Getaran Jembatan Menggunakan Sensor Accelerometer,” *Ijeis*, vol. 3, no. 2, hal. 185–196, 2013.
- [7] M. S. Wibawa, A. I. Ubay, S. A. Putra, dan A. Syahrina, “The Integration of Bridge Health Monitoring System with Traffic Monitoring System,” *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf. /*, vol. 9, no. 2, hal. 138–147, 2020.
- [8] C. Huda, A. W. Purwandi, dan H. Hadiwiyatno, “Rancang Bangun Monitoring Getaran Jembatan Rangka Baja Soekarno-Hatta Malang Sebagai Penilaian Kondisi Bangunan Atas Jembatan Melalui Web,” *J. Jartel J. Jar. Telekomun.*, vol. 4, no. 1, hal. 50, 2017.
- [10] A. A. Rafiq, W. N. Rohman, dan S. D. Riyanto, “Development of a simple and low-cost smartphone gimbal with MPU-6050 sensor,” *J. Robot. Control*, vol. 1, no. 4, hal. 136–140, 2020, doi: 10.18196/jrc.1428.
- [11] F. Mangkusasmito, D. Y. Tadeus, H. Winarno, dan E. Winarno, “Peningkatan Akurasi Sensor GY-521 MPU-6050 dengan Metode Koreksi Faktor Drift,” *Ultim. Comput. J. Sist. Komput.*, vol. 12, no. 2, hal. 91–95, 2020, doi: 10.31937/sk.v12i2.1791.
- [12] M. I. Fauzi, Y. Salahuddin, dan D. Erwanto, “Jurnal FUSE – Teknik Elektro Perancangan Solar Garden System untuk Penerangan dan Pengisian Daya Handphone pada Taman Terbuka Hijau Solar Garden System Design for Lighting and Charging Mobile Phones in Green Open Gardens,” *J. FUSE – Tek. Elektro*, vol. 2, no. 2, hal. 70–79, 2022, [Daring]. Tersedia pada: <https://jurnal.uns.ac.id/inkuiri>
- [13] H. Ananda Putra dan A. Rosano, “Implementasi IOT Dalam Sistem Monitoring Kualitas Air Menggunakan Platform Blynk Dan Googlesheet,” *INSANtek*, vol. 5, no. 1, hal. 15–21, 2024, doi: 10.31294/insantek.v5i1.3209.