

ISSN (ONLINE) 2598-9936



INDONESIAN JOURNAL OF INNOVATION STUDIES
PUBLISHED BY
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO

Table Of Contents

Journal Cover	1
Author[s] Statement	3
Editorial Team	4
Article information	5
Check this article update (crossmark)	5
Check this article impact	5
Cite this article	5
Title page	6
Article Title	6
Author information	6
Abstract	6
Article content	7

Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licences/by/4.0/legalcode>

Indonesian Journal of Innovation Studies

Vol. 26 No. 2 (2025): April
DOI: 10.21070/ijins.v26i2.2172

EDITORIAL TEAM

Editor in Chief

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Managing Editor

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

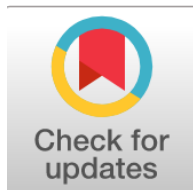
Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

How to submit to this journal ([link](#))

Article information

Check this article update (crossmark)



Check this article impact (*)



Save this article to Mendeley



(*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

Bridge Vibration Monitoring Using ESP32 and MPU6050: Pemantauan Getaran Jembatan Menggunakan ESP32 dan MPU6050

Muhadzdzib Sayyidul Quthb, ariefwisaksono@umsida.ac.id (*)

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Arief Wisaksono, ariefwisaksono@umsida.ac.id

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

(*) Corresponding author

Abstract

General Background: Structural health monitoring is essential for maintaining bridge safety and supporting infrastructure management through continuous observation of operational conditions. **Specific Background:** Bridge vibrations generated by passing vehicles can contribute to structural degradation, creating a need for real-time monitoring systems that allow remote data access and storage. **Knowledge Gap:** Existing studies have demonstrated vibration measurement and bridge monitoring approaches; however, a practical system integrating vibration sensing, wireless communication, and cloud-based data recording through a simple spreadsheet platform remains limited. **Aims:** This study aimed to develop a bridge vibration monitoring system using an ESP32 microcontroller, an MPU6050 accelerometer and gyroscope sensor, and Google Sheets as a remote monitoring and database platform. **Results:** The developed system successfully detected, transmitted, stored, and displayed bridge vibration data in real time through an internet connection. Measured vibration values were classified according to vehicle type, with recorded vibration speeds of 1.87 m/s for tronton trucks, 1.47 m/s for trucks, 0.40–0.97 m/s for buses, and 0.11–0.39 m/s for cars. **Novelty:** The proposed system combines ESP32-based wireless sensing, MPU6050 vibration measurement, and direct Google Sheets integration within a single monitoring framework for bridge vibration observation. **Implications:** The system provides a practical approach for remote bridge condition monitoring and data archiving, supporting routine observation and future assessment of bridge structural conditions.

Highlights:

- Real-time vibration data were transmitted and stored through an online spreadsheet platform.
- Vehicle categories produced distinct measured vibration ranges on the observed structure.
- Wireless sensing architecture enabled remote observation and database recording.

Keywords: Bridge Vibration Monitoring; Structural Health Monitoring; ESP32; MPU6050; Internet of Things

Published date: 2025-04-15

Pendahuluan

Jembatan merupakan sebuah struktur yang dibangun untuk menghubungkan dua titik yang terpisah dikarenakan perbedaan elevasi, struktur yang sudah berdiri, atau faktor lainnya. Densitas lalu lintas yang padat dengan muatan yang tidak sedikit tentu lambat laun akan membuat ketahanan struktur jembatan mengalami degradasi. Perlu dilakukan sebuah monitoring atau pengawasan terhadap kesehatan struktur sebuah jembatan. Demi memudahkan proses pengawasan, maka diterapkan juga sistem nirkabel yang mana data hasil monitoring akan langsung tersimpan tanpa berinteraksi dengan alat secara fisik.

Secara umum, Structural Health Monitoring (SHM) telah banyak menjadi subyek studi di bidang manufaktur, teknik sipil, dan industri luar angkasa dikarenakan sistem ini mampu memonitor, mengevaluasi, memprediksi, serta memberikan laporan tentang integritas sebuah struktur. Untuk struktur yang baru akan dibuat, aplikasi SHM digunakan pada interval waktu tertentu untuk mengambil data yang berhubungan dengan fabrikasi, manufaktur, dan proses pembangunan berkaitan dengan resiko dan keselamatan pekerja saat bangunan mulai didirikan. Untuk struktur yang sudah ada, aplikasi SHM digunakan untuk mengetahui kondisi struktur untuk memperkirakan durasi sisa durabilitas sebuah struktur sebelum perlu dilakukan tindakan yang lebih lanjut[1].

Salah satu penyebab turunnya kondisi kesehatan struktur jembatan adalah getaran yang dihasilkan oleh lalu lintas kendaraan yang melintas, mulai dari kendaraan ringan seperti motor dan mobil pribadi, hingga yang bermuatan berat seperti truk kontainer. Pada penelitian yang dilakukan oleh Hardono S., getaran aktual pada sebuah jembatan layang tol yang diakibatkan eksitasi getaran lalu lintas dengan menggunakan sensor akselerometer yang diletakkan pada bagian bawah gelagar. Metode yang digunakan adalah dengan merekam getaran yang dihasilkan lalu membuat model bentuk sesuai data. Berdasarkan hasil yang didapatkan, disimpulkan bahwa mengukur getaran pada sebuah jembatan tanpa menghentikan lalu lintas merupakan sebuah hal yang tidak mustahil[2].

Penelitian yang dilakukan beracuan pada beberapa penelitian sebelumnya. Penelitian yang dilakukan oleh Wibawa M.S. (2020) berjudul Integrasi Sistem Pengawasan Kesehatan Jembatan dengan Sistem Pengawasan Lalu Lintas. Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk membantu menilai resiko keamanan struktural yang dapat merusak struktur jembatan dengan memanfaatkan Wireless Sensor Network (WSN) dalam pengambilan data. Penelitian menggunakan load-cell untuk mengukur beban kendaraan yang melintas. Data yang didapat kemudian dikirim ke raspberry pi untuk kemudian dikirim ke basis data di simpul sink yang dibuat dengan SunSpot. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat mengukur frekuensi alami mendekati nilai Finite Element Analys (FEA) yang menunjukkan validitas sistem yang dikembangkan [3].

Penelitian lain yaitu yang dilakukan oleh Huda C. (2017) yang berjudul Rancang Bangun Monitoring Getaran Jembatan Rangka Baja Soekarno-Hatta Malang Sebagai Penilaian Kondisi Bangunan Atas Jembatan Melalui Web. Pada penelitian ini ditujukan untuk memonitoring getaran pada bangunan atas jembatan yang berguna untuk dinas maupun Unit Pelaksanaan Teknis (UPT) yang terkait untuk mengetahui performansi bangunan atas jembatan sehingga dapat dilakukan penanganan lebih lanjut dari hasil identifikasi yang sudah dilakukan. Penelitian menggunakan sensor accelerometer MMA7455 sebagai pengukur getaran dan WebServer sebagai pembaca data. Hasil dari penelitian menunjukkan frekuensi alami aktual jembatan Soekarno-Hatta Malang sebesar 0.28 Hz dan rata-rata akselerasi sebesar 0.12 mm/sec [4].

Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian yang dilakukan adalah metode kuantitatif eksperimen. Adapun diagram blok yang menggambarkan alur kerja alat yang dibuat pada penelitian adalah sebagai berikut.

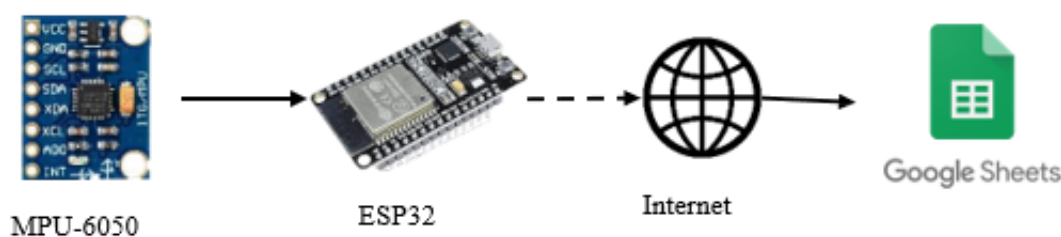


Figure 1. Blok Diagram Penelitian

Gambar 1 menunjukkan alur pembacaan dan pengiriman data pada alat yang dibuat. Komponen pokok yang digunakan dalam penelitian ini adalah MCU Esp32, MPU-6050 Accelerometer and Gyroscope Sensor, dan LCD 16x2.

A. Esp32



Figure 2. Mikrokontroler Esp32

Gambar 2 menunjukkan bentuk fisik dari mikrokontroler Esp32. NodeMCU Esp32 adalah microcontroller yang didesain untuk keperluan IoT yang berdaya rendah. Performa dapur pacu yang tinggi dengan built-in WiFi dan Bluetooth membuat perangkat ini ideal untuk project IoT portable[5]. Perbedaan paling mendasar antara Esp32 dan microcontroller yang lebih umum seperti Arduino adalah ada pada kemampuan Esp32 untuk ter-interkoneksi dengan perangkat lain dengan memanfaatkan modul WiFi dan Bluetooth yang sudah terintegrasi pada boardnya[6][7].

Fitur	Spesifikasi
Mikroprosesor	Tensilica Xtensa LX6
Frekuensi Maksimum	240MHz
Tegangan	3.3V
Pin Input Analog	12-bit, 18 Channel
Pin DAC	8-bit, 2 Channel
Pin I/O Digital	39 (34 Pin GPIO)
Arus pada Pin I/O	40mA
Arus pada Pin 3.3V	50mA
SRAM	520KB
Komunikasi	SPI(4), I2C(2), I2S(2), CAN, UART(3)
Wi-Fi	802.11 b/g/n
Bluetooth	V4.2-Mendukung BLE dan Classic Bluetooth

Figure 3. **Tabel1.**Spesifikasi Esp32 berdasarkan Datasheet

B. MPU-6050



Figure 4. Sensor Akselerometer MPU-6050

Gambar 3 menunjukkan sensor MPU-6050. Sensor di atas merupakan perangkat atau sensor yang memiliki 6 poros gerak yang menggabungkan fungsi accelerometer dan gyroscope secara bersamaan[8]. Sensor ini dilengkapi dengan Digital Motion Processor yang tertanam pada boardnya[9]. Data yang didapatkan dikirimkan melalui I2C sehingga perangkat dapat menerima seluruh data yang didapat tanpa adanya gangguan [10]. Selain fitur yang disebutkan, sensor ini memiliki *Digital Motion Processor* (DMP) yang memiliki kemampuan untuk memproses algoritma gerakan *gyroscope* dan *accelerometer* [11]. Sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Mangkusamito (2020), keakuratan sensor MPU-6050 masih dapat ditingkatkan lagi dengan metode koreksi faktor *drift*[12].

C. MPU-6050



Figure 5. Modul Charger TP-4056

Gambar 4 di atas menunjukkan modul power supply yang digunakan dalam penelitian. Power supply berfungsi sebagai pemberi daya untuk perangkat elektronika. Dalam penelitian ini, digunakan sumber daya berupa baterai rechargeable 18650 dengan voltase 3.7V yang terhubung dengan modul charger TP4056 sebagai pengisi daya baterai[13].

D. Google Sheets



Figure 6. Logo Google Sheets

Gambar 5 menunjukkan logo yang digunakan oleh web app Google Sheets. Google Sheets merupakan sebuah fitur yang diberikan oleh google untuk pengolahan angka dan data[14]. Cara kerja Google Sheets hampir sama dengan Microsoft Excel, namun memiliki kelebihan antara lain dapat langsung terkoneksi dengan server Google. Kelebihan ini dapat dimanfaatkan dengan membuat sebuah WebApp yang nantinya akan menghubungkan project IoT dengan dokumen yang dibuat melalui Google Sheets[15].

E. Blok Diagram

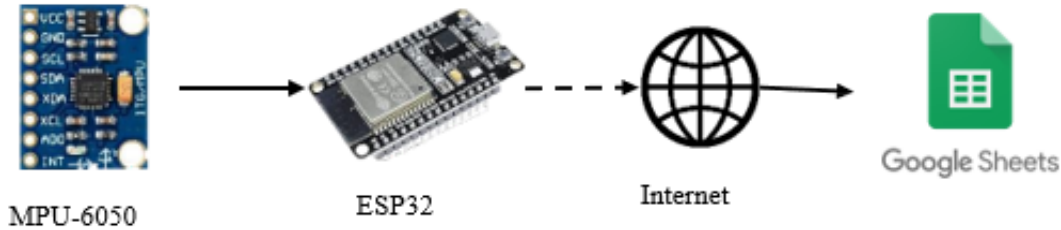


Figure 7. Blok Diagram Sistem

Gambar 6 merupakan diagram blok dari alat yang dibuat. Sensor MPU-6050 mendeteksi adanya getaran posisi berupa perpindahan posisi, lalu data yang didapat dikirim secara serial menuju mikrokontroler Esp32. Data yang didapatkan kemudian dikirim melalui web server menuju Google Sheets agar data masuk ke dalam database.

F. Flowchart Sistem

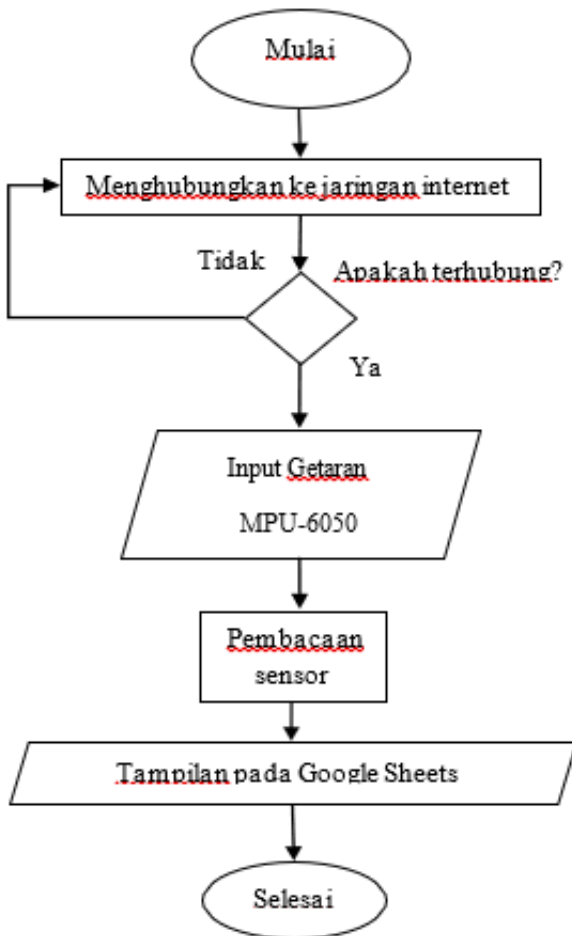


Figure 8. Flowchart dari Sistem Monitoring

Gambar 7 menunjukkan alur eksekusi sistem yang digambarkan oleh sebuah flowchart. Dimulai dari perancangan hardware dan proses pengunggahan program dengan Arduino IDE ke board Esp32, microcontroller lalu mencoba menghubungkan ke internet dengan modul WiFi yang terintegrasi dengan board dan koneksi internet yang berasal dari hotspot. Kemudian akan dilakukan inisiasi terhadap sensor akselerometer MPU-6050 dilanjutkan dengan pembacaan getaran. Data yang didapat kemudian disimpan ke dalam Google Sheets.

G. Perancangan Hardware

Pada sub bab ini akan digambarkan diagram pengkabelan serta bentuk dari komponen-komponen yang digunakan. Adapun pencitraan dari alat yang dibuat menggunakan software fritzing.

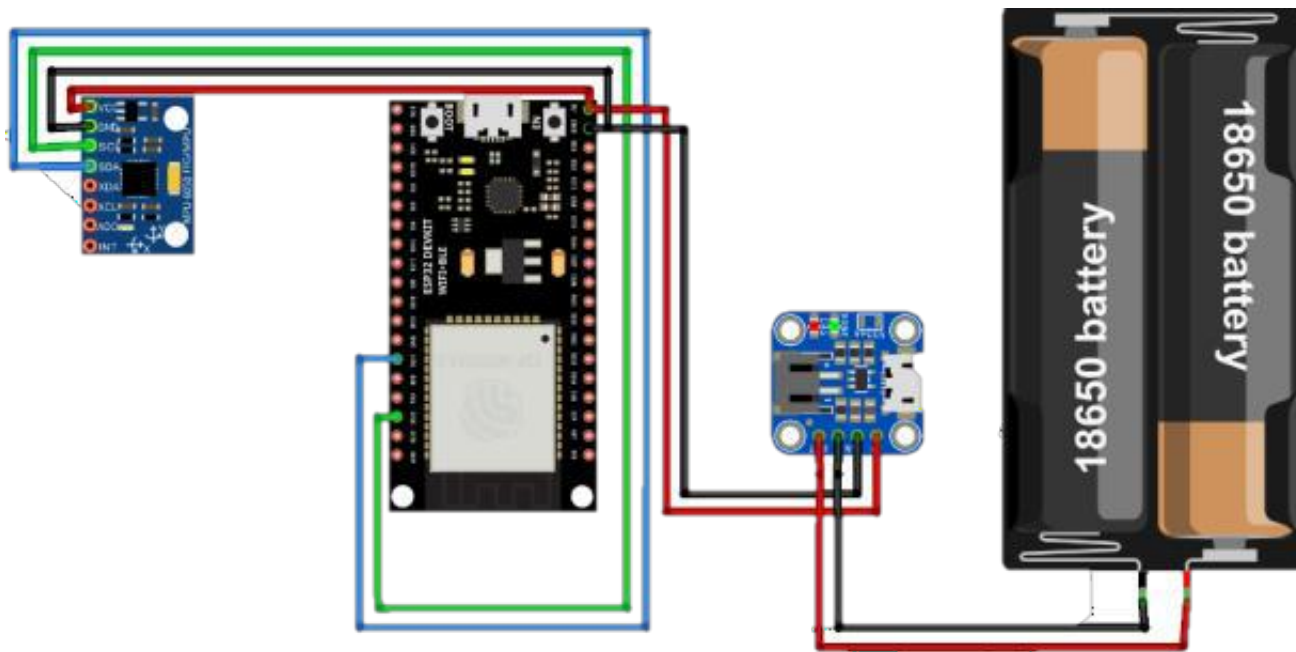


Figure 9. Wiring Diagram

Gambar 8 memperlihatkan perancangan wiring alat yang dibuat. Inti dari sistem menggunakan mikrokontroler ESP32. Sensor yang digunakan terhubung dengan ESP32 melalui pin SDA SCL agar fungsi serial I2C tetap dapat digunakan secara bersamaan dengan Wi-Fi. Daya yang digunakan berasal dari baterai atau USB.

Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Pembuatan Perangkat Keras

Setelah perangkat lunak siap dan code telah dibuat, selanjutnya adalah menguji perangkat keras yang digunakan. Pengujian dilakukan setelah semua komponen dirakit menjadi satu hingga menjadi sebuah alat. Pengujian langsung secara keseluruhan karena agar alat dapat bekerja, dibutuhkan sistem yang sudah terbuat.



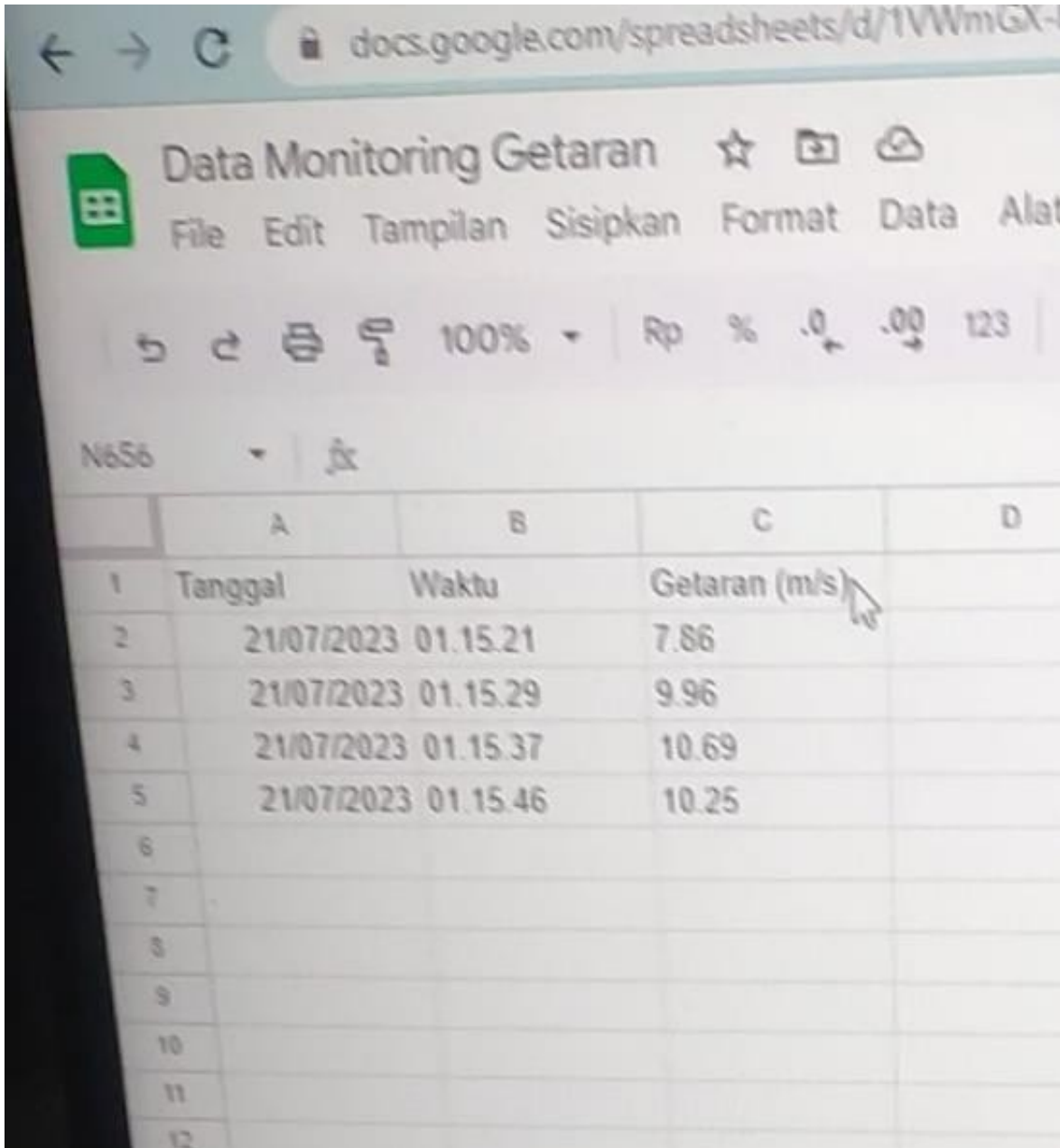
Figure 10. Tampak Dalam Alat Setelah Perakitan

Gambar 9 merupakan tampak dalam dari alat yang dibuat setelah dipasang pada PCB, dihubungkan dengan kabel jumper, dan dikemas dengan project case. Secara keseluruhan, sensor MPU6050 menerima sinyal getaran dan merubahnya menjadi sinyal digital. Sinyal digital ini kemudian dikirimkan menuju ESP32 dengan 2 kabel yang masing-masing dihubungkan ke pin SDA dan SCL. Lalu data yang terbaca oleh ESP32 dikirimkan ke LCD melalui komunikasi serial yang juga menggunakan pin SDA dan SCL. Sebagai supply daya, digunakan baterai 18650 3,7V yang kemudian distep-up dengan modul charger menjadi 5,2V lalu dihubungkan pada pin VIN ESP32. ESP32 memiliki voltage regulator 3,3V yang menjadi penyuplai daya untuk sensor MPU6050 dan LCD 16x2.



Figure 11. Tampak Luar Alat dan Percobaan

Gambar 10 menunjukkan alat yang sudah siap untuk dilakukan percobaan. Percobaan pembacaan alat dan integrasi dengan Google Sheets dilakukan dengan menghubungkan alat ke jaringan internet via Wi-Fi. Tampilan Google Sheets kemudian diakses menggunakan perangkat komputer. Hasil pembacaan didapat secara real-time.



The image shows a Google Sheet interface with the following data:

	A	B	C	D
1	Tanggal	Waktu	Getaran (m/s)	
2	21/07/2023	01.15.21	7.86	
3	21/07/2023	01.15.29	9.96	
4	21/07/2023	01.15.37	10.69	
5	21/07/2023	01.15.46	10.25	
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				

Figure 12. Tampilan pada Google Sheets

Tampilan pada Google Sheets ketika alat berjalan seperti ditunjukkan pada Gambar 11. Data yang dikirim ke database lengkap disertai tanggal dan waktu pengambilan data. Getaran yang diperoleh kemudian diolah kembali menjadi bentuk diagram dan tabel agar dapat dianalisa lebih lanjut.

B. Pengolahan Data

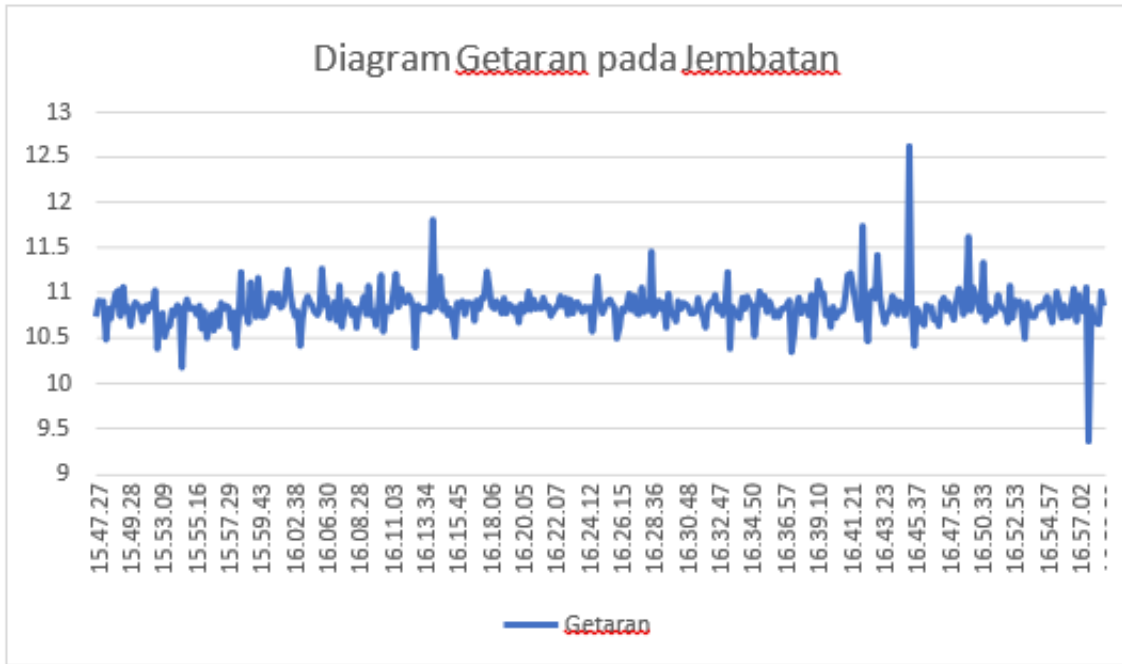


Figure 13. Diagram Grafik Pembacaan Alat

Gambar 12 merupakan array data jika digambarkan dengan diagram garis. Data yang diperoleh kemudian dicari nilai tengah (median). Hal ini dilakukan untuk mengolah data lebih lanjut. Pencarian nilai median dilakukan dengan bantuan function MEDIAN yang ada pada Google Sheets, maka ditemukan 10,85 m/s sebagai nilai tengah. Nilai tengah ini merupakan kecepatan getaran rata-rata saat alat dalam kondisi diam tanpa getaran (nilai tetap terbaca karena percepatan gravitasi mempengaruhi plat pada sensor).

Setelah didapat nilai tengah, maka dapat dicari nilai pembacaan tertinggi. Dikarenakan getaran merupakan gelombang, jadi nilai yang lebih kecil dari nilai tengah juga dihitung sebagai kecepatan getaran. Berdasarkan hal tersebut maka kecepatan getaran pada saat kendaraan melintasi jembatan dapat diklasifikasikan dalam bentuk tabel sebagai berikut:

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

Table 1. **Tabel2.**Kecepatan Getaran Jembatan saat Dilewati Kendaraan

Tabel 2 menunjukkan getaran pada jembatan yang terukur saat dilintasi beberapa jenis kendaraan. Nilai getaran terhitung diambil dari data yang didapat dikurangi dengan nilai getaran saat kondisi diam (tanpa getaran) yaitu 10,85 m/s dan bersifat mutlak.

Simpulan

Sistem berhasil dirancang dan dirakit sehingga menjadi sebuah alat yang terintegrasi dan berfungsi dengan semestinya. Sensor MPU6050 yang terpasang dapat membaca kecepatan getaran pada jembatan. Data yang didapatkan dari pembacaan sensor dapat dimonitoring secara langsung pada LCD 16x2 yang terpasang dan tersimpan secara lengkap pada Google Sheets yang dapat diakses melalui smartphone atau komputer. Dari hasil pengambilan data didapatkan getaran pada jembatan yang disebabkan oleh tronton sebesar 1,87 m/s dari kondisi tanpa getaran, truk sebesar 1,47 m/s, bus antara 0,4 m/s hingga 0,97 m/s, dan mobil antara 0,11 m/s hingga 0,39 m/s.

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.

References

1. Belkeziz, R., & Jarir, Z. (2017). A Survey on Internet of Things Coordination. Proceedings of the 2016 3rd International Conference on Systems of Collaboration (SysCo 2016), 4(3), 619-635.

<https://doi.org/10.1109/SYSCO.2016.7831328>

2. Fatah, A. (2021). Implementasi Algoritma Fast Fourier Transform Pada Monitor Getaran Untuk Analisis Kesehatan Jembatan. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Terapan*, 7(1), 70–82. <https://doi.org/10.33197/jitter.vol7.iss1.2020.446>
3. Wibawa, M. S., Ubay, A. I., Putra, S. A., & Syahrina, A. (2020). Integrasi Sistem Pengawasan Kesehatan Jembatan Dengan Sistem Pengawasan Lalu Lintas. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, 9(2), 138–147. <https://doi.org/10.22146/jnteti.v9i2.197>
4. Huda, C., Purwandi, A. W., & Hadiwiyatno, H. (2017). Rancang Bangun Monitoring Getaran Jembatan Rangka Baja Soekarno-Hatta Malang Sebagai Penilaian Kondisi Bangunan Atas Jembatan Melalui Web. *Jurnal Jaringan Telekomunikasi*, 4(1), 50–56.
5. Suprayitno, E. A., Anshory, I., & Jamaaluddin. (2020). Smart Home Integrated With Internet of Things (IoT) in the Digital Era of Industry 4.0. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 874(1), Article 012010. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/874/1/012010>
6. Components101. (2020). ESP32 DevKitC Pinout, Overview, Features & Datasheet. Components101. <https://components101.com/microcontrollers/esp32-devkitc>
7. Tritunggal, F. A., Pradana, C., & Pradani, E. R. K. (2023). Sistem Deteksi Gempa Otomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino Dan Sensor Accelerometer MPU6050. *Metrotech: Journal of Mechanical and Electrical Technology*, 2(2), 98–104. <https://doi.org/10.33379/metrotech.v2i2.2788>
8. Kharisma, O. B., Wildan, A., Auliaullah, & Laumal, F. E. (2018). Implementasi Sensor MPU 6050 Untuk Mengukur Kesetimbangan Self Balancing Robot Menggunakan Kontrol PID. *Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi Dan Industri*, 357–364.
9. Setiawan, R., Triharminto, H. H., & Fahrurrozi, M. (2021). Gesture Control Menggunakan IMU MPU 6050 Metode Kalman Filter Sebagai Kendali Quadcopter. *Prosiding Seminar Nasional Sains, Teknologi Dan Inovasi Indonesia*, 3, 411–422. <https://doi.org/10.54706/senastindo.v3.2021.133>
10. Chokshi, R. (2012). MPU-6000 and MPU-6050 Register Map and Descriptions Revision 4.0. InvenSense Inc.
11. Amirullah, M., Kusuma, H., & Tasripan, T. (2019). Sistem Peringatan Dini Menggunakan Deteksi Kemiringan Kepala Pada Pengemudi Kendaraan Bermotor Yang Mengantuk. *Jurnal Teknik ITS*, 7(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v7i2.31011>
12. Mangkusasmito, F., Tadeus, D. Y., Winarno, H., & Winarno, E. (2020). Peningkatan Akurasi Sensor GY-521 MPU-6050 Dengan Metode Koreksi Faktor Drift. *Ultima Computing: Jurnal Sistem Komputer*, 12(2), 91–95. <https://doi.org/10.31937/sk.v12i2.1791>
13. Andriansyah, M. I., Jamaaluddin, J., Ahfas, A., Anshory, I., & Hadidjaja, D. (2023). Rancang Bangun Jebakan Tikus Berbasis Internet of Things Dan Camera ESP32. *JASEE: Journal of Applied Science and Electrical Engineering*, 4(2), 43–53.
14. Wisaksono, A., Purwanti, Y., Ariyanti, N., & Masruchin, M. (2020). Design of Monitoring and Control of Energy Use in Multi-Storey Buildings Based on IoT. *JEEE-U: Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 4(2), 128–135. <https://doi.org/10.21070/jeeeu.v4i2.539>
15. Wibowo, A. A., Syahririni, S., & Wisaksono, A. (2023). Temperature and Speed Monitoring on Google Sheet-Based Motorcycle Discs. *Journal of Computer Networks, Architecture and High Performance Computing*, 5(2), 735–742. <https://doi.org/10.47709/cnahpc.v5i2.2880>