

Fly Over Sumokali Health Structure Monitoring System Using Mpu 6050 Via Google Sheet

[Sistem Monitoring Kesehatan Struktur Fly Over Sumokali Menggunakan Mpu 6050 Via Google Sheet]

Aflaq Puji Asmoro¹⁾, Shazana Dhiya Ayuni²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Dosen Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi²: shazana@umsida.ac.id

Abstract. This study was designed to implement a structural health monitoring system on the Sumokali Flyover using an MPU 6050 sensor capable of reading accelerometer and gyroscope data on three axes (X, Y, Z). This system is equipped with wireless communication using the LoRa module to transmit data without requiring an internet connection. The data received is displayed in real-time via Google Sheet, making it easy to monitor remotely. The system uses a threshold method to detect vibrations or movements that exceed the tolerance limit and classifies the status of the structure into the normal or crack alert category. The test results show that the system can work effectively and provide initial information regarding potential structural damage. This system can be a solution in monitoring infrastructure conditions continuously, especially on flyovers, in order to improve safety and maintenance efficiency.

Keywords – Structure Monitoring; Accelerometer and Threshold

Abstrak. Penelitian ini dirancang untuk mengimplementasikan sistem monitoring kesehatan struktur pada Fly Over Sumokali menggunakan sensor MPU 6050 yang mampu membaca data akselerometer dan gyroscope pada tiga sumbu (X, Y, Z). Sistem ini dilengkapi dengan komunikasi nirkabel menggunakan modul LoRa untuk mengirimkan data tanpa memerlukan koneksi internet. Data yang diterima ditampilkan secara real-time melalui Google Sheet, sehingga memudahkan pemantauan dari jarak jauh. Sistem menggunakan metode threshold untuk mendeteksi getaran atau pergerakan yang melebihi batas toleransi dan mengklasifikasikan status struktur ke dalam kategori normal atau waspada retak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja secara efektif dan memberikan informasi awal terkait potensi kerusakan struktur. Sistem ini dapat menjadi solusi dalam pemantauan kondisi infrastruktur secara berkelanjutan, terutama pada fly over, guna meningkatkan keselamatan dan efisiensi pemeliharaan.

Kata Kunci - Monitoring Struktur; Akselometer dan Threshold

I. PENDAHULUAN

Setiap kontruksi bangunan pasti memiliki kerentanan terhadap kerusakan, sama halnya dengan flyover. Struktur bangunan yang menua, kondisi lingkungan yang tidak menentu, dan penambahan beban pada bangunan menjadi permasalahan yang perlu diwaspadai pada saat pemeliharaan bangunan. Oleh karena itu, bangunan perlu dipantau untuk mendeteksi deformasi struktural yang disebabkan oleh pengoperasian normal dan pengaruh lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan beban kendaraan yang berat. Selain itu, pemantauan seluruh struktur harus dilakukan setelah situasi ekstrem seperti gempa bumi.[1]

Misalnya, pada hari Senin, 8 April 2024, sebuah kontruksi bangunan flyover runtuh dan menabrak lintasan kereta api di kota Vyazma di Smolensk, Rusia bagian barat, sehingga memutus pipa gas. Akibatnya, sebanyak 8.000 warga kehilangan pasokan gas. Rusaknya flyover terjadi karna usianya yang sudah tua. Akibatnya seorang wanita meregang nyawa, dan sejumlah 3 orang menderita cidera termasuk seorang remaja berumur 14 tahun yang disebabkan oleh peristiwa robohnya flyover tersebut.[2]

Dari kecelakaan diatas terdapat beberapa faktor yang menyebabkan kerusakan pada flyover itu sendiri. Termasuk faktor interistik dan faktor eksternal. Faktor interistik antara lain kerusakan yang didasarkan dari komponen bangunan itu sendiri. Faktor eksternal kini antara lain kerusakan yang disebabkan oleh lingkungan sekitar dan kondisi alam. Dalam proses pencegahan dan untuk meminimalkan kerusakan pada flyover, perlu diterapkan sistem dan teknik pemantauan atau monitoring . Teknologi monitoring atau pemantauan ini biasa disebut dengan Structural Health Monitoring (SHM) atau dikenal dengan Sistem Pemantauan Kesehatan Struktural “SHMS”. Ini digunakan untuk mendeteksi kondisi, kesesuaian, dan kerusakan struktur dan juga dikenal sebagai Sistem Pemantauan Kesehatan secara terstruktur.[3] SHM bisa melakukan monitoring atau peninjauan secara real-time, mengevaluasi performa sistematis, dan mengidentifikasi kesehatan dengan terstruktur.

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.

Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

Ada beberapa metode untuk SHM. Yakni pengujian non-destructif (NDT), yaitu metode penghitungan kerusakan dengan melakukan pengujian seperti pengujian kebocoran, pengujian penetrasi cair, pengujian inframerah dan termal, pengujian radiologi, pengujian elektromagnetik, dan pengujian emisi akustik. Pengujian ultrasonik, pengujian magnetik, pengujian visual, lalu ada deteksi kerusakan berbasis getaran, yakni metode yang mengidentifikasi suatu kerusakan berlandaskan pada perubahan getaran yang terjadi pada konstruksi yang ada yang disebabkan oleh hal-hal tertentu.[4]

Metode komunikasi yang digunakan di SHM dibagi menjadi dua jenis yaitu komunikasi kabel dan komunikasi radio. Keunggulan komunikasi berbasis kabel adalah data yang dikirim oleh sensor sangat tepat dan tidak berdaya besar, karena daya berasal langsung dari pusat kendali. Namun, komunikasi kabel sensitif terhadap pemasangan kabel, sehingga seiring bertambahnya jangkauan, memerlukan sejumlah besar kabel, yang juga berdampak pada biaya pemasangan. Wireless Communications atau yang juga kita ketahui sebagai Wireless Sensor Networks (WSN) memiliki keunggulan karena tidak memerlukan instalasi kabel, dan sensor dapat dengan mudah diubah dan dikonfigurasi ulang apabila rusak.[5][6]

Penelitian ini membahas permasalahan integritas struktur bangunan flyover sumokali untuk memudahkan pemeliharaan bangunan. Penelitian ini memanfaatkan teknologi Long Range (LoRa) sebagai sarana komunikasi non kabel pada Internet of Things (IoT). pemakaian lora disini karena dapat mentransfer data dalam jarak yang relatif berjarak. Penggunaan LoRA tidak memerlukan sambungan internet untuk mengirimkan data. Melainkan frekuensi 433hz lah digunakan untuk komunikasi antar node pada LoRa.[7] Dari kesulitan diatas, pada penelitian ini teknologi WSN dan LoRa dapat digunakan untuk memantau getaran dan kondisi struktur flyover sumokali, dengan tujuan untuk deteksi dini dan pengenalan kerusakan pada struktur flyover sumokali. Dengan pengujian berdasarkan nilai reverensi berikut:

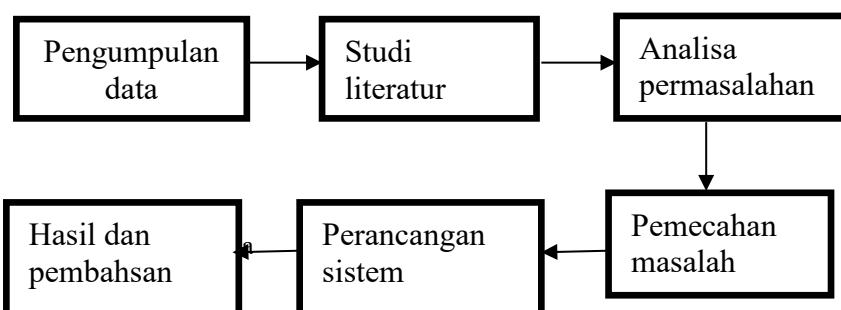
Tabel 1. Nilai Referensi

Sumbu	Nilai referensi
Sumbu X	$250 > x > 450$
Sumbu Y	$220 > y > 450$
Sumbu Z	$280 > z > 600$

II. METODE

A. Alur Penelitian

Alur penelitian merupakan gambaran kegiatan yang dilakukan dari awal hingga akhir suatu penelitian untuk mencapai hasil akhir. Di bawah ini adalah tahapan atau alur penelitian untuk mengerjakan monitoring kesehatan struktur bangunan flyover berdasarkan teknik prototyping.



1. Pengumpulan data

melakukan observasi secara langsung di lingkungan flyover dan menganalisis literatur berdasarkan berbagai referensi jurnal. Data yang diperoleh berasal dari analisis kebutuhan software dan hardware Arduino, Fritzing, dan wokwi yang digunakan dalam perancangan sistem.

2. Studi Literatur

Agar lebih memahami permasalahan yang akan diteliti penulis harus mencari referensi dan membaca studi literatur yang relevan sebagai bahan penunjang dan reverensi.

3. Analisa permasalahan

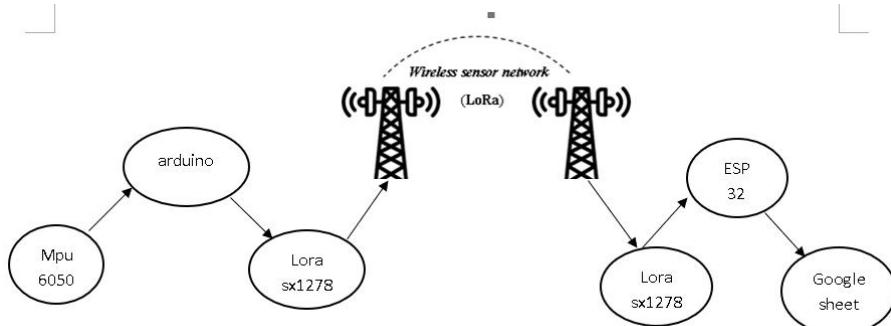
Menganalisa permasalahan yang timbul dan kemudian akan dirumuskan menjadi permasalahan. Batasan dari studi literatur sebelumnya dapat dijadikan sebagai pengembangan dan acuan pada penelitian ini.

4. Pemecahan masalah

Dari permasalahan yang didapatkan yaitu bagaimana cara implementasi sensor mpu 6050 sebagai pendeksi parameter pergerakan dan getaran

5. Perancangan Sistem

Pada tahap ini alat siap digunakan dan di implementasikan sebagai alat monitoring kesehatan struktur bangunan flyover sumokali



Gambar 1. Diagram blok perancangan sistem

Dari diagram blok diatas menjelaskan :

a. Sensor mpu 6050 :

- Berfungsi sebagai pembaca gyroskop dan akselerometer
- Memberikan data parameter getaran dengan sumbu X,Y,Z pada arduino melalui pin A4 arduino

b. Arduino

- Mikrokontroler utama pada node transmitter yang bertanggung jawab mengolah data dari sensor dan mengelola lora sebagai transmitter
- Proses pada arduino meliputi membaca data yang diterima oleh sensor dan akan diteruskan ke lora untuk di transmisikan pada node receiver

c. LoRa

- Berfungsi sebagai transfer data dan penerima data dimana pengiriman data tersebut tidak menggunakan internet melainkan melalui transmisi radio

d. Esp 32

- Mikrokontroller utama pada node receiver yang digunakan sebagai pengolah data dari transmisi dan kemudian akan ditampilkan pada googlesheet.

e. Google sheet

- Berfungsi sebagai penampil data yang telah dibaca oleh sensor mpu 6050 dan telah ditransmisikan oleh lora, data yang ditampilkan bersifat secara realtime.

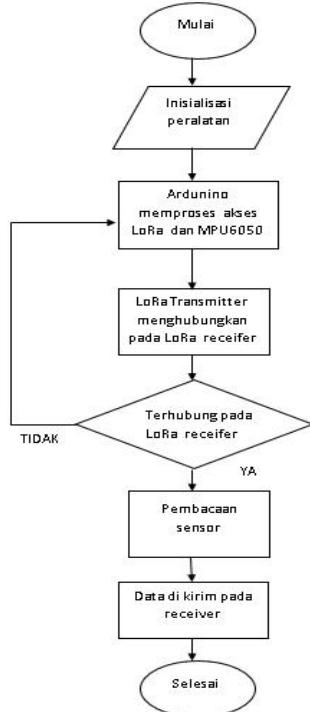
6. Hasil dan pembahasan

Hasil analisa digunakan untuk memecahkan masalah yang ada. Selain itu pengumpulan data dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan hasil dari perangkat yang digunakan dan akan terkumpul dari penggunaan alat yang berulang.

B. Perancangan perangkat lunak

Pada tahap ini, perancangan software dilakukan dengan menulis program pada mikrokontroler, yang berfungsi sebagai pengendali sistem yang akan dibuat. Pertama, perancangan dilakukan dengan menulis program kendali mikrokontroler pada alat gateway. Tahap ini termasuk menulis program untuk mengontrol komunikasi antara dua node ke gateway sebagai receiver, dan membangun program pada Google Sheet sebagai sistem monitor yang dapat diakses melalui internet. Selanjutnya, tahap kedua melibatkan pengkodean mikrokontroler dua node. Ini akan melibatkan program sensing sensor MPU 6050 pada masing-masing node dan pengiriman data ke gateway atau pengirim. Flowchart perencanaan alat secara software digambarkan pada Gambar 2 dan 3 di bawah ini:

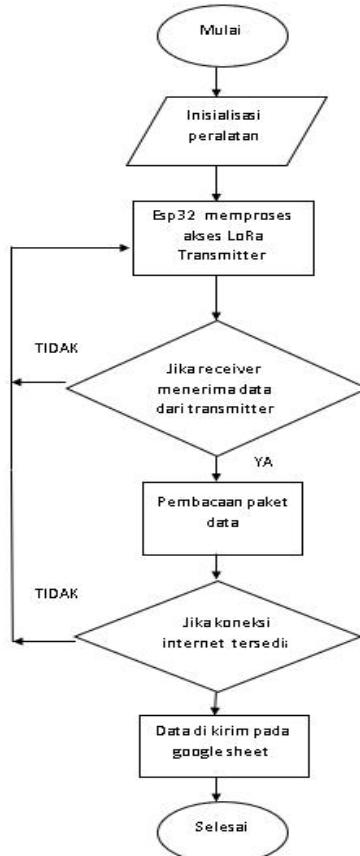
FLOWCHART TRANSMITER



Gambar 2. flowchart sistem transmitter

Gambar 2. merupakan tampilan pada node transmiter. Dimana arduino akan memproses akses ke LoRa transmiter untuk dihubungkan dengan Lora Receiver ,jika sudah terhubung maka sensor MPU 6050 akan mendeteksi getaran yang terdiri dari accelerometer dan gyroscope. Faktor gyroscope sangat penting untuk mempertahankan keseimbangan suatu benda dan mendeteksi pergerakan dari batas maksimal dan bawah (threshold) pada sumbu X untuk menentukan kemiringannya. apabila nilai maximal dan bawah berbanding sesuai dengan batas batas yang sudah ditentukan sebelumnya, akan terdeteksi suatu getaran. yang dihasilkan oleh kendaraan yang melintas.

FLOWCHART RECEIVER



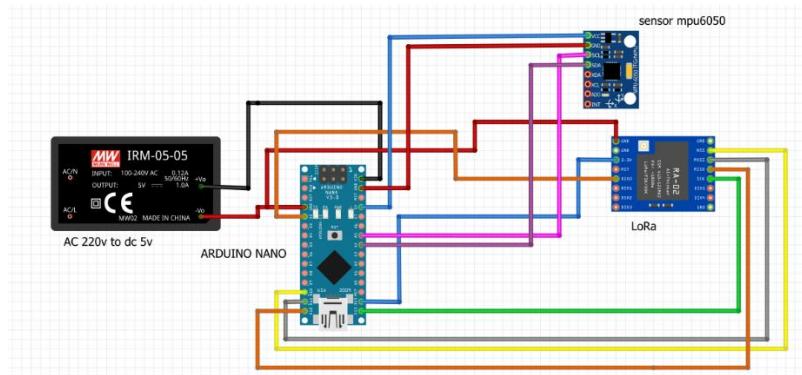
Gambar 3. flowchat sistem receiver

Gambar 3. Pertama-tama esp32 memproses akses ke LoRa transmpter kemudian jika receiver menerima data dari transmpter maka pembacaan paket data dari transmpter akan dilakukan dan akan di kirim atau ditampilkan pada google sheet secara online. Namun, untuk pengiriman data, coding receiver menggunakan program sebagai penerima. Dengan mengirimkan data ke Google Sheets, sehingga data dapat diunggah dengan cepat. Pengiriman data oleh ESP32 bergantung pada kekuatan WiFi yang diterima oleh karena itu, data yang dikirim ke Google Sheet akan dipengaruhi oleh konektivitas. Agar pengiriman Google Sheet dapat menerima kode pengiriman dari ESP32, platform tersebut harus memiliki kode autentifikasi agar platform tersebut menerima kode pengiriman dari ESP32.

C. Perancangan perangkat keras

Pada langkah ini, dirancang sistem instalasi komponen yang digunakan dalam pembuatan alat. Pada tahap ini, gambar rangkaian dua dimensi dibuat untuk dua alat, transmpter dan receiver. Diagram wiring untuk transmpter dibuat dan fokusnya adalah untuk membaca dan mengirim data dan pada receiver, dibuat wiring diagram, dan fokusnya adalah untuk menerima dan menampilkan data pada google sheet. Seperti pada gambar 4 dan gambar 5 dibawah ini.

1. Transmitem



Gambar 4. rangkaian node transmitem

Gambar 4 Merupakan gambar perancangan perangkat keras untuk node transmitter yang melibatkan rangkaian modul sensor MPU6050 untuk memembaca besaran getaran yang terdiri dari accelerometer dan gyroscope. Modul sensor MPU6050 bertanggung jawab untuk membaca dan menentukan suatu nilai kemiringan pada sumbu Z, X, dan Y. Dengan mendeteksi pergerakan yang diambil dari batas nilai maksimal dan bawah (threshold) pada ruas X. Dan menggunakan mikrokontroller Arduino nano untuk mengolah data pembacaan accelerometer dan gyroscope. LoRa Ra-02 berguna untuk mengirimkan data yang berasal dari node transmitter ke ESP32 pada node penerima. Converter Ac 220v0.12A to Dc 5v1A yang berfungsi sebagai sumber tegangan 5V DC untuk Arduino Nano.

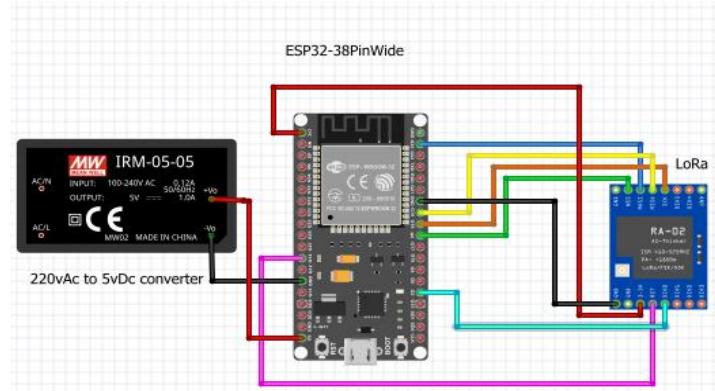
Tabel 2. pengkabelan rangkaian node transmitem

Pengkabelan rangkaian node transmitem	
Arduino Nano	Sensor MPU6050
5V	VCC
GND	GND
A5	SCL
A4	SDA
Arduino Nano	LoRa Ra-02 SX1278
3.3V	VCC
GND	GND
D10	NSS
D11	MOSI
D12	MISO
D13	SCK
D2	D100
Arduino Nano	Coverter Ac 220 to Dc 5v
Vin	V+
GND	V-

Tabel 2. pengkabelan rangkaian node transmitem dengan menggunakan modul sensor mpu6050 terhubung ke Arduino Nano melalui pin vcc ke 5v arduino sebagai sumber tegangan utama, GND MPU 6050 ke GND arduino, pin SCL ke A5 arduino sebagai pin input untuk sinyal clock dan digunakan sebagai kecepatan komunikasi data dan SDA ke A4 arduino sebagai transmisi data dua arah dimana data akan diterima dan dikirimkan melalui pin ini. Dengan menggunakan transmisi radio 433MHz, LoRa Ra-02 SX1278 terhubung ke arduino nano melalui pin VCC ke 3.3v arduino GND ke GND arduino, pin NSS ke D10 arduino, pin NSS (slave Select) untuk mengaktifkan komunikasi dengan LoRa, pin MOSI ke D11 arduino sebagai pengirim data dari lora ke arduino, pin MISO ke D12 berfungsi sebagai pin penerima data dari lora ke arduino, pin SCK ke D13 digunakan sebagai

pengirim sinyal clock untuk sinkronisasi data antara arduino dan lora, pin D100 ke D2 arduino digunakan sebagai pin interrupt untuk menangani transmisi atau penerimaan data. LoRa Ra-02 SX1278 digunakan untuk mengirimkan data dari Arduino Nano ke NodeMCU ESP32 pada node penerima. Converter Ac 220v0.12A to Dc 5v1A yang berfungsi sebagai sumber tegangan 5V DC untuk Arduino Nano.

2. Receiver



Gambar 5. Rangkaian Receiver

Gambar 5. merupakan perancangan perangkat keras pada node receiver, NodeMCU ESP32 berperan sebagai mikrokontroler utama pada node receiver. Saat ESP32 tersinkron dengan WiFi maka data dikirimkan ke google sheet. Transmisi wireless pada LoRa digunakan sebagai penerima data dari node transmitter. Data yang ditampilkan pada Google Sheets akan ditampilkan secara real-time. Data dapat diunggah dengan baik apabila disesuaikan dengan kekuatan wifi yang di terima. Selain itu, data yang masuk ke Google Sheet akan dipengaruhi oleh koneksi, karena pengiriman Google Sheet memerlukan kode autentikasi dari ESP32. Converter Ac 220v0.12A to Dc 5v1A yang berfungsi sebagai sumber tegangan 5V DC untuk ESP32.

Tabel 3.Pengkabelan rangkaian node receiver

Pengkabelan rangkaian node receiver	
ESP 32	LoRa Ra-02 SX1278
3.3V	VCC
GND	GND
GPIO5	NSS
GPIO23	MOSI
GPIO19	MISO
GPIO18	SCK
GPIO2	D100
GPIO14	RST
<hr/>	
ESP 32	Coverter Ac 220 to Dc 5v
Vin	V+
GND	V-

Tabel 3. Merupakan pengkabelan dari rangkaian node receiver pada node receiver dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32. pengolah data utama pada node receiver menggunakan ESP 32.

Ketika terhubung ke WiFi, NodeMCU ESP32 mengirimkan data ke komputer server. Dengan LoRa Ra-02 SX1278 melalui pin 3.3v ke 3.3v LoRa, pin GND ke GND LoRa , pin GPIO5 ke NSS LoRa dimana esp32 akan mengatur pin ini low saat berkomunikasi dengan lora dan high saat digunakan, pin GPIO18 ke SCK LoRa sebagai pengirim sinyal clock dari esp32 ke lora sebagai sinkronisasi komunikasi data, pin GPIO19 ke MISO LoRa sebagai pengirim data yang dikirim dari lora dan diterima oleh esp32, pin GPIO 23 ke MOSI LoRa yang digunakan untuk mentransfer data dari mikrokontroller ke perangkat spi, pin GPIO2 ke DIO0 LoRa berguna sebagai pendekripsi pesan yang diterima pada node receiver, pin GPIO14 ke pin RST LoRa sebagai pengatur ulang modul lora apabila diperlukan. Node receiver juga dapat menerima data dari node transmitter melalui transmisi nirkabel. Converter Ac 220v to Dc 5v yang berfungsi sebagai sumber tegangan 5v Dc untuk ESP32 .

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 4. Hasil Penelitian

Time	X	Y	Z	X	Y	Z	Status	Ket
24/03/2025 22:54:56	-1,95	-8,31	-2,32	0	0,02	0,09	ACC: 1. X: NORMAL 2. Y: NORMAL 3. Z: NORMAL GYR: 1. X: NORMAL 2. Y: NORMAL 3. Z: NORMAL	Waspada Retak: 0.0%

Pada tabel 4. terdapat data pembacaan sensor akselerometer (ACC) dan giroskop (GYR) dalam tiga sumbu (X, Y, Z), beserta status normal/warning dan tingkat "Waspada Retak" dalam bentuk persentase.

a. Threshold yang digunakan dari kode program:

ACC (Akselerometer)

Niali Xmin = -1.5, Max x = 1.5

Nilai YMin = -2.0, Max Y = 1.0

Nilai ZMin = -1.0, Max Z = 8.0

GYR (Giroskop)

min = -10.0, max = 10.0

Nilai-nilai ini digunakan untuk mendekripsi apakah data real-time melebihi ambang batas yang ditentukan (threshold). Jika melebihi, maka akan diberi status "WASPADA".

1. Hasil Pemantauan Sensor

a. Tanggal: 24/03/2025 22:54:56

Nilai ACC dan GYR masih dalam batas normal:

ACC: Semua sumbu (X, Y, Z) berada dalam rentang threshold.

GYR: Semua sumbu dalam batas normal.

Status: Semua NORMAL.

Waspada Retak: 0.0% — tidak ada satupun dari enam parameter (ACC dan GYR di sumbu X, Y, Z) yang melebihi ambang batas (threshold) yang telah ditetapkan oleh sistem.

Struktur Fly Over dalam Kondisi Stabil karena semua nilai berada dalam batas aman, sistem tidak mendekripsi adanya gejala awal retakan, pergeseran, atau getaran abnormal yang signifikan. Ini menunjukkan bahwa pada waktu tersebut, struktur fly over tidak mengalami gangguan atau potensi kerusakan.

Sistem telah bekerja sebagaimana mestinya dengan mengevaluasi nilai input terhadap ambang batas yang ditentukan. Threshold ini sangat penting untuk menghindari false alarm serta memastikan bahwa hanya anomali yang signifikan yang ditandai sebagai "WASPADA". Pemanfaatan persentase waspada retak perhitungan 0.0% artinya tidak ada satupun parameter yang berada dalam status "WASPADA". Jika di masa depan, misalnya 2 dari 6 parameter berada pada status "WASPADA", maka sistem akan menunjukkan Waspada Retak: 33.3%, yang berarti sistem mendeteksi potensi kerusakan dini.

IV. SIMPULAN

Sistem monitoring kesehatan struktur fly over berbasis sensor MPU 6050 yang terintegrasi dengan Google Sheet berhasil mendeteksi getaran dan pergerakan pada tiga sumbu (X, Y, Z) secara real-time. Berdasarkan hasil pengujian pada tanggal 24 Maret 2025 pukul 22:54:56, nilai akselerometer dan gyroscope berada dalam batas aman dengan status "NORMAL" dan indikator Waspada Retak: 0.0%, yang menunjukkan tidak terdapat potensi keretakan pada struktur saat itu. Sistem ini menggunakan metode threshold sederhana untuk mengidentifikasi anomali dan memberikan peringatan dini apabila terjadi getaran atau pergerakan di luar ambang batas yang ditentukan. Penerapan sistem ini memiliki potensi besar dalam pemantauan struktur bangunan secara berkelanjutan, terutama pada infrastruktur publik seperti fly over, jembatan, atau gedung tinggi.

Saran berkelanjutan untuk penelitian selanjutnya yaitu peningkatan akurasi dengan filter penggunaan filter kalman atau complementary filter dapat membantu meminimalkan noise dan fluktuasi tidak signifikan dalam pembacaan sensor, sehingga akurasi deteksi anomali meningkat dan pengujian jangka panjang untuk penelitian selanjutnya, sistem perlu diuji dalam rentan waktu yang lama agar pola perubahan getaran struktural bisa dianalisis secara statistik.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih dan syukur kepada Allah SWT dengan berbagai rahmat dan pertolongan-Nya, sehingga penulis bisa menuntaskan penelitian ini dengan mulus. Terima kasih juga buat semua pihak yang sudah ikut berkontribusi pada alur penelitian ini. Ucapan terima kasih khusus penulis sampaikan kepada para dosen pembimbing yang telah memberikan dukungan dan arahan selama penelitian berlangsung. Bantuan dan bimbingan mereka sangat berarti dan membantu penulis menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

REFERENSI

- [1] A. Budiyarto, A. Salam, and H. Tashbir, "Implementasi Wireless Sensor Network pada Sistem Manajemen Kesehatan Struktur Jembatan," *J. Telemat.*, vol. 19, no. 1, pp. 6–14, 2024, doi: 10.61769/telematika.v19i1.669.
- [2] "1 Orang Tewas Akibat Fly Over Roboh ke Jalur KA di Rusia." [Online]. Available: <https://redigest.web.id/2024/04/1-orang-tewas-akibat-fly-over-roboh-ke-jalur-ka-di-rusia/>
- [3] N. Retno Setiati and M. Savero Ghafiruzzambi, "SHMS Sebagai Solusi Teknologi Monitoring Online Untuk Mengevaluasi Kondisi Jembatan," *Konverensi Reg. Tek. Jalan*, pp. 1–13, 2022.
- [4] M. S. Wibawa, S. A. Putra, A. Syahrina, and M. Sc, "Pengembangan Purwarupa Sistem Pengawasan Kondisi Kesehatan Jembatan Single Degree Of Freedom Menggunakan Respon Dinamik Prototype Development Of A Single Degree Of Freedom Bridge Health Condition Monitoring System Using Dynamic Responses," *e-Proceeding Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 2155–2169, 2020.
- [5] S. A. Putra *et al.*, "Sekolah Teknik Elektro dan Informatika," *Jalan Ganeshha*, vol. 7, no. 3, pp. 338–343, 2018.
- [6] M. F. Arrozi, Setyorini, and S. A. Putra, "Implementasi Ant Colony Optimization untuk Routing pada Optimasi Perutean in Network Processing pada Sistem Monitoring," *e-Proceeding Eng.*, vol. 10, no. 5, pp. 4927–4933, 2023.
- [7] Y. Arafat and E. Setyati, "Desain dan implementasi Wireless Sensor Network menggunakan LoRa untuk pemantauan tingkat pencemaran udara di Kota Surabaya," *Teknologi*, vol. 10, no. 2, pp. 75–84, 2020, doi: 10.26594/teknologi.v10i2.2070.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.