

# APLIKASI SENSOR *MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEM (MEMS) ACCELEROMETER* BERBASIS IOT DALAM PENGUKURAN PERCEPATAN MAKSIMUM GETARAN STRUKTUR JEMBATAN

**Rafika Ade Rahayu, Kholis Nurhanafi\*, Syahrir, Ahmad Zarkasi**

Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Prodi Fisika, FMIPA Universitas Mulawarman

**Riwayat artikel:**

Received: 12 Februari 2024

Accepted: 30 Maret 2024

Published: 2 April 2024

**Keywords:**

Accelerometer;

ADXL345;

IoT;

MEMS;

Vibration;

**Corespondent Email:**

kholis.nh@fmipa.unmul.ac.id

**Abstrak.** Alat ukur getaran dengan sensor *Micro Electro Mechanical System (MEMS)* berbasis *Internet of Things (IoT)* merupakan alat yang dapat diaplikasikan pada pengukuran nilai percepatan maksimum getaran struktur jembatan. Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang alat ukur getaran dengan sensor MEMS berbasis IoT dengan harga yang relatif rendah dan mengukur standar deviasi pada alat ukur tersebut. Pada penelitian ini alat ukur dibuat dengan sensor MEMS tipe ADXL345 yang dihubungkan dengan mikrokontroler NodeMCU Esp8266 lalu diprogram pada *interface Arduino IDE* agar dapat terhubung dengan platform IoT *Blynk*. Sistem alat ukur yang dirancang dapat merekam data pada *Cloud Blynk* dengan nilai *sampling* 1 Hz. Nilai standard deviasi pada 3 titik pengukuran jembatan tiap sumbunya yaitu: pada titik 1 dengan sumbu x, y, dan z secara berturut-turut sebesar 0.0137 g, 0.0163 g, 0.0228 g; titik 2 sumbu x, y, z secara berturut-turut sebesar 0.0139 g, 0.0195 g, 0.0299 g; titik 3 sumbu x, y, z secara berturut-turut sebesar 0.0139 g, 0.0285 g, 0.0313 g.

**Abstract.** The *Internet of Things (IoT)* based vibration measuring instruments with *Micro Electro Mechanical System (MEMS)* sensors are tools that can be applied to measure the vibration maximum acceleration of bridge structures. This research aims to design a vibration-measuring instrument with an IoT-based MEMS sensor at a relatively low cost and measure the standard deviation of the instrument. In this research, the measuring instrument was made with a MEMS sensor type ADXL345 which was connected to a NodeMCU Esp8266 microcontroller and then programmed on the Arduino IDE interface so that it could be connected to the Blynk IoT platform. The instrument system can record data on the Blynk Cloud with 1 Hz sampling. The standard deviation values at the 3 measurement points on the bridge for each axis, namely at point 1 with the x, y, and z axes, are respectively 0.0137 g, 0.0163 g, 0.0228 g; at point 2 the standard deviation for x, y, z axes are 0.0139 g, 0.0195 g, 0.0299 g respectively; at point 3 the standard deviation for x, y, z axes are 0.0139 g, 0.0285 g, 0.0313 g respectively.

## 1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan salah satu konstruksi umum yang digunakan sebagai akses pejalan kaki dan transportasi bagi masyarakat untuk mempermudah kegiatan interaksi antar manusia baik dalam segi sosial, politik, budaya, serta ekonomi. Keberadaan jembatan saat ini sangat berkembang baik dari bentuk struktur yang sederhana sampai struktur yang kompleks [1]. Jembatan menjadi struktur penunjang yang sangat penting bagi manusia namun parameter-parameter yang menjadi acuan penunjuk kelayakan jembatan tentunya tidak dapat dikecualikan salah satunya yaitu getaran pada jembatan [2][3].

Getaran merupakan suatu gerakan berulang dalam tempo yang cepat dan dalam keadaan seimbang. Getaran memiliki beberapa parameter fisis, diantaranya perpindahan, kecepatan, dan percepatan. Percepatan sendiri didefinisikan sebagai perubahan kecepatan getaran persatuan waktu [4][5]. Nilai percepatan maksimum suatu struktur menggambarkan bagaimana gaya bekerja pada struktur tersebut [6][7].

Alat pengukur struktur bangunan yang telah berstandar memiliki harga yang cukup tinggi, namun seiring berkembangnya inovasi dalam dunia elektronika terdapat sensor yang dapat digunakan untuk mengukur getaran, yaitu sensor akselerometer yang memiliki harga terjangkau [8].

Sensor *Micro Electro Mechanical System* (MEMS) akselerometer merupakan sensor dengan sistem mikro yang memiliki fungsi elektromagnetik baik sebagai mikrosensor ataupun mikroaktuator [9]. Sensor ini memiliki prinsip kerja yang sama dengan sensor konvensional seperti *piezoelectric* dan *differential capacitive* [10][11]. Sensor ini bekerja dengan prinsip yang sama dengan sistem pegas. Suatu benda bermassa akan memiliki percepatan karena adanya tarikan dan akan berhenti seiring dengan berjalannya waktu [12].

Perkembangan teknologi juga membuat banyak sekali alat-alat elektronika yang lebih canggih dengan dukungan perangkat penunjang lainnya, Salah satunya adalah pengembangan konsep *Internet of Things* (IoT). IoT adalah suatu sistem jaringan perangkat yang dapat

menghubungkan perangkat satu dan lainnya tanpa menggunakan kabel (*wireless*). Penerapan sistem IoT banyak dikembangkan karena memiliki kelebihan dalam menunjang berbagai aktivitas manusia antara lain mudah, aman, dan hemat waktu [13][14].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat ukur getaran dengan sensor MEMS akselerometer berbasis IoT dengan harga yang terjangkau, serta menghitung nilai standar deviasinya. Perancangan alat ukur ini menggunakan sensor MEMS bertipe ADXL345 dan mikrokontroler NodeMCU Esp8266, Instrumen yang dirancang diprogram dengan *interface* Arduino IDE yang kemudian dihubungkan dengan platform IoT Blynk. Dalam penelitian ini dibandingkan hasil perekaman pada *Cloud* Blynk dan serial monitor (data keluaran sensor sebelum masuk ke dalam platform IoT). Standar deviasi digunakan sebagai acuan tingkat variabilitas dari alat ukur getaran yang dibuat. Pengambilan data dilakukan pada Jembatan Kehewahan Kota Samarinda, dengan 3 titik pengukuran, yaitu satu pengukuran untuk setiap ujung jembatan, dan 1 pengukuran pada bagian tengah struktur jembatan.

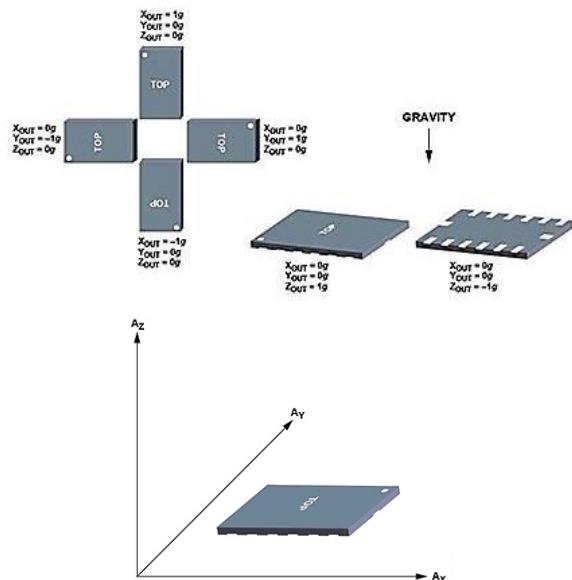
## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sensor MEMS ADXL345

Sensor ini dapat mendeteksi gerakan dari 3 sumbu dengan resolusi 13-bit dan mendeteksi adanya tarikan pada jangkauan 16g, orientasi pengaturan sensor ini diilustrasikan seperti pada Gambar 1. Sensor ini juga mengonsumsi daya yang rendah dan memiliki harga yang terjangkau [15]. ADXL345 memiliki sistem pengelola memori internal statis sebesar 32-bit dengan tipe FIFO yang digunakan untuk menyimpan data hasil pengukuran sehingga dapat mengurangi beban dari mikrokontroler. Spesifikasi dari sensor akselerometer ADXL345 adalah sebagai berikut:

1. Tegangan suplai 3V-6V DC
2. Regulator tegangan rendah
3. Rentang pengukuran: +/- 16g
4. Mengukur nilai (-16g hingga +16g): X: -235 hingga +270 Y: -240 hingga +260 Z: -240 hingga +270
5. Konverter level tegangan bawaan (berbasis MOSFET)

6. Dapat dihubungkan dengan mikrokontroler 3V atau 5V
7. *Ultra Low Power*:  $40 \mu\text{A}$ , dalam mode pengukuran,  $0,1 \mu\text{A}$ , dalam standby  $2.5\text{V}$
8. Antarmuka SPI dan I2C [16][17].



**Gambar 1.** Respon keluaran dan orientasi ke Gravitasi

## 2.2 Internet of Things (IoT)

*Internet of Things* (IoT) merupakan suatu perkembangan dalam bidang teknologi yang sangat membantu kehidupan manusia. Pada dunia elektronika, IoT sangat berperan dalam menghubungkan suatu perangkat dengan perangkat lainnya serta dalam hal pemberian instruksi pada sensor [18]. Perangkat yang terhubung dengan *platform* IoT mengintegrasikan data-data dari perangkat lain dengan sambungan internet lalu menganalisisnya sebagai informasi yang dibutuhkan maupun tidak sesuai dengan perintah yang telah diterapkan, pada saat inilah informasi akan dideteksi [19]. Karakteristik utama pada sistem IoT yang dapat membantu jalannya perintah yaitu

- Objek diberi perangkat atau alat ukur
- Saling terhubungnya terminal otonom
- Kecerdasan dari layanan-layanan yang dibuat

Perangkat yang tertanam dalam sistem IoT harus sesuai dengan kebutuhan proyek. Ada beberapa teknologi yang biasanya digunakan di bidang IoT seperti sensor, aktuator, sistem operasi, mikrokontroler, teknologi komunikasi, sekuritas, dan alat analitik [20].

## 2.3 Platform Blynk

Mikrokontroler seperti Arduino, Rasbery Pi, wemos dan modul lainnya dapat dihubungkan melalui internet dengan tambahan *platform* Blynk. *Platform* ini dapat digunakan pada IOS dan Android dengan sistem yang sederhana dan mudah dipahami oleh kalangan umum, terdapat banyak fitur yang dapat membantu pengguna dalam mengumpulkan, meyimpan, menganalisis, memvisualisasikan, dan melakukan tindakan pada hasil pembacaan sensor. Blynk memudahkan pengguna untuk memantau aktivitas dari jarak jauh melalui internet serta dapat digunakan untuk membuat sebuah projek antarmuka [21][22].

## 2.4 NodeMCU Esp8266

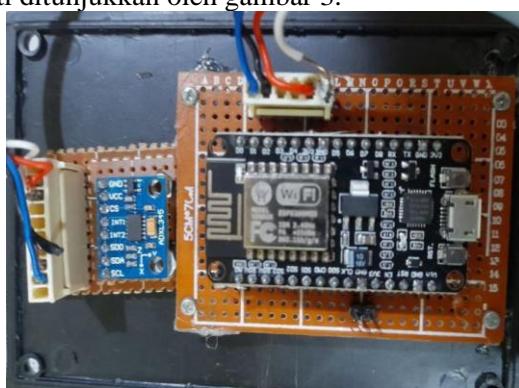
Modul ini merupakan mikrokontroler yang didesain dengan Esp8266 yang umum digunakan untuk menghubungkan jaringan WiFi ke mikrokontroler [23]. Modul ini menggunakan bahasa pemrograman Lua, namun Arduino IDE juga dapat digunakan untuk melakukan pemrograman. Modul ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:[24]

1. *Wireless Standard IEEE 802.11 b/g/n*
2. *Frequency Range 2.412 - 2.484 GHz*
3. *Power Transmission 802.11b :  $+16 \pm 2 \text{ dBm}$  (at 11 Mbps); 802.11g :  $+14 \pm 2 \text{ dBm}$  (at 54 Mbps); 802.11n :  $+13 \pm 2 \text{ dBm}$  (at HT20, MCS7)*
4. *Receiving Sensitivity 802.11b : -93 dBm (at 11 Mbps, CCK); 802.11g : -85 dBm (at 54 Mbps, OFDM); 802.11n : -82 dBm (at HT20, MCS7)*
5. *Wireless Form On-board PCB Antenna*
6. *IO Capability UART, I2C, PWM, GPIO, 1 ADC*
7. *Electrical Characteristic 3.3 V Operated 15 mA output current per GPIO pin 12 - 200 mA working current Less than 200 uA standby current*
8. *Operating Temperature -40 to +125 °C*
9. *Serial Transmission 110 - 921600 bps, TCP Client 5*
10. *Wireless Network Type STA / AP / STA + AP*
11. *Security Type WEP / WPA-PSK / WPA2-PSK*
12. *Encryption Type WEP64 / WEP128 / TKIP / AES*

13. *Firmware Upgrade Local Serial Port, OTA Remote Upgrade*
14. *Network Protocol IPv4, TCP / UDP / FTP / HTTP*
15. *User Configuration AT + Order Set, Web Android / iOS, Smart Link APP*

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dirancang dengan mengaplikasikan alat ukur getaran dengan sensor *Micro Electro Mechanical System* (MEMS) berbasis IoT dalam pengukuran percepatan struktur jembatan. Alat ukur getaran dibangun menggunakan sensor MEMS bertipe ADXL345 dan mikrokontroler NodeMCU tipe ESP8266 seperti pada Gambar 2. Adapun konfigrasi pin sensor ADXL345 dan NodeMCU dihubungkan dengan skema seperti pada tabel 1. Kedua modul tersebut diprogram agar dapat membaca nilai percepatan dan terhubung pada *platform Blynk cloud*. Data yang tersimpan pada *cloud* dapat diunduh dalam bentuk *Spreadsheet*. Hasil data akan dibandingkan dengan data pada serial monitor. Hal ini untuk melihat apakah terdapat perbedaan pada bacaan nilai percepatan getaran sebelum dan setelah memasuki platform IoT, karena platform IoT *Blynk* memiliki keterbatasan pada jumlah bacaan data perdetiknya. Pengambilan data dilakukan pada tiga titik pada struktur jembatan, yaitu satu titik pada tiap-tiap ujung jembatan (T1 dan T3) dan satu titik pada bagian tengah jembatan (T2) seperti ditunjukkan oleh gambar 3.



**Gambar 2** ADXL345 dan NodeMCU Esp8266

**Tabel 1.** Pin penghubung

Pin NodeMCU ESP8266	Pin ADXL345
3V	VCC

GND	GND
D1	SDA
D2	SDL



**Gambar 3** Titik pengukuran pada struktur jembatan

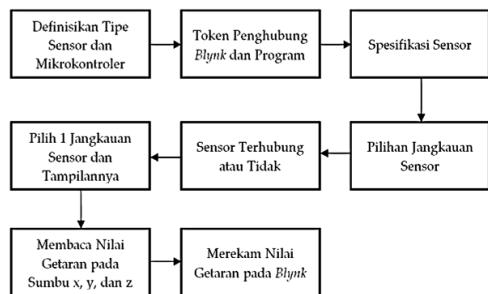
### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan alat ukur getaran memerlukan sebuah program yang terstruktur agar dapat membaca nilai percepatan getaran baik melalui serial monitor maupun pada *cloud Blynk*. Bagan program ditunjukkan pada Gambar 4. Pendefinisan tipe sensor dilakukan agar sensor dapat terbaca pada saat program dijalankan. Token dimasukan agar program dan mikrokontroler dapat terhubung dengan *cloud server*. Kode token didapatkan dari platform Blynk dan akan terkoneksi dengan *template antarmuka* yang telah dibuat. Pembacaan spesifikasi pada sensor meliputi tipe sensor, versi pengendali, kode unik sensor, nilai maksimum dan minimum sensor, serta resolusi yang dapat dibaca oleh sensor. Spesifikasi-spesifikasi tersebut akan muncul dengan waktu tunda 100 ms.

Indikator pengecekan suatu sensor telah terhubung dengan mikrokontroler dapat dilihat dengan menambahkan keterangan yang dapat menjadi acuan bahwa kondisi sensor telah terbaca atau belum. Salah satu contohnya pada saat sensor belum terbaca maka monitor akan menampilkan kalimat "*Ooops, no ADXL345 detected ... Check your wiring!*". Pada saat sensor telah terhubung dengan baik maka nilai percepatan akan langsung didapatkan.

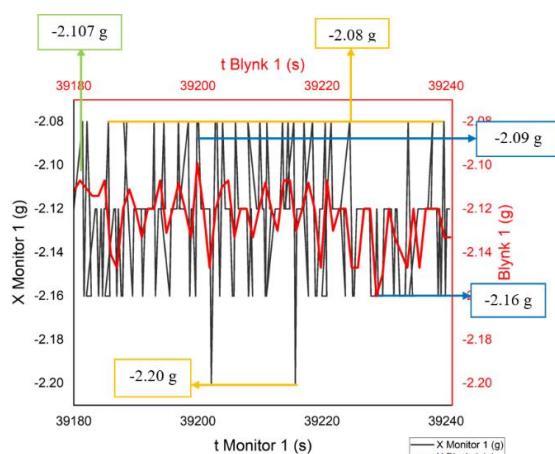
Bagian terakhir dalam *script* merupakan tahapan tampilan (*display*) nilai percepatan getaran. "*Serial.print*" merupakan *syntax* untuk menampilkan nilai getaran pada *serial monitor* dengan 3 sumbu yaitu x, y, dan z. Sedangkan *syntax* "*Blynk.virtualWrite*" digunakan untuk menampilkan data pada *antarmuka (interface)* Blynk. Hasil bacaan percepatan getaran akan

ditampilkan dalam bentuk grafik runtun waktu (*time series*) dan nilai-nilainya akan tersimpan dalam Blynk *cloud server*.



Gambar 4 Bagan Alur Program

Pengambilan data dilakukan pada 3 titik pengukuran yang memuat nilai pada 3 sumbu sensor yaitu x, y, dan z. Pengukuran dilakukan selama 15 menit namun dilakukan pemotongan untuk mempermudah analisa perubahan percepatan dengan mengambil data pada satu menit pertama. Pada *cloud Blynk* didapatkan data sebanyak  $\pm 60$  data yang merupakan nilai dari rata-rata percepatan getaran per detik, sedangkan, dengan waktu yang sama, pada serial monitor didapatkan 202 data yang merupakan nilai bacaan asli pada sensor MEMS ADXL345. Nilai tersebut didapatkan sebanyak 3 hingga 4 data tiap detiknya.



Gambar 5. Contoh Keluaran getaran Blynk dan Serial Monitor

Perbandingan antara nilai percepatan maksimum dari keluaran *blynk* dengan nilai pada serial monitor tertera pada tabel 2. Angka tersebut didapatkan dari rerata nilai puncak-pucak (*peaks*) sinyal yang muncul selama 1 menit. Gambar 5 menunjukkan contoh sinyal

keluaran yang menggambarkan nilai percepatan getaran sebagai fungsi waktu. Nilai keluaran pada platform Blynk memiliki batas bawah -2,16 g dan batas atas -2,09 g. Nilai keluaran pada serial monitor menunjukkan nilai percepatan dengan batas atas dan bawah sebesar -2,08 g dan -2,20 g. Nilai-nilai tersebut dapat digunakan untuk menentukan tipe infrastuktur jembatan berdasarkan tabel 3. [25]. Nilai percepatan maksimum tertinggi terdapat pada orientasi z di titik 3, yaitu sebesar 9.022 g. Nilai ini digategorikan layaknya struktur atau bangunan yang dilewati angin kuat.

Tabel 2. Nilai Maksimum Percepatan Getaran

Titik Data	Sumbu	Percepatan pada Blynk (g)		Percepatan pada Serial Monitor (g)	
		Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah
T1	X	2,099	2,16	2,08	2,20
	Y	1,41	1,491	1,41	1,53
	Z	8,776	8,885	8,75	8,9
T2	X	0,283	0,213	0,35	0,20
	Y	2,5	2,57	2,47	2,63
	Z	8,787	8,904	8,75	8,94
T3	X	0,323	0,391	0,27	0,43
	Y	1,138	1,255	1,14	1,26
	Z	9022	9,14	9,02	9,14

Tabel 3. Kategori Nilai Akselerasi [25]

Situation	Building in Strong Wind	Public Transportation	Building in Earthquake	Amusement Park Ride
Peak Acceleration (g)	0,5-10	51-102	204-458	$\leq 458$

Untuk menghitung sebaran data hasil pengukuran percepatan maksimum dari alat yang telah dibangun digunakanlah standar deviasi. Standar deviasi merupakan suatu ukuran penyebaran data yang dapat menggambarkan besar penyebaran sejumlah data. Standar deviasi adalah nilai akar kuadrat dari variasi data untuk mendapatkan nilai rata-rata yang diharapkan. Nilai standar deviasi mendekati nol akibat rendahnya variabilitas, hal ini menunjukkan bahwa tiap nilai di kumpulan data mendekati nilai yang diharapkan. Standar deviasi pada hasil perekaman data percepatan getaran selama 1 menit dapat dinyatakan seperti pada Tabel 4.

Berdasarkan tabel 4 didapatkan selisih nilai standar deviasi pada dua kondisi penyimpanan data percepatan getaran menunjukkan nilai tertinggi 0.012 g selisih tersebut terjadi akibat adanya interval jeda waktu antar dua kondisi, selain itu hal tersebut juga disebabkan oleh kapasitas penyimpanan perekaman Blynk yang hanya dapat merekam satu data per satu detik namun pada serial monitor menunjukkan 3 sampai 4 data per detiknya. Selisih nilai antar dua kondisi yang cukup kecil (mendekati nol) menunjukkan bahwa alat dapat digunakan dalam pengukuran percepatan getaran maksimum secara *remote* berbasis IoT. Akan tetapi, adanya keterbatasan sampling pada platform Blynk (1 data per detik) menyebabkan sinyal keluaran tidak dapat dianalisis dalam domain frekuensi, karena frekuensi yang dapat direkam terbatas pada frekuensi rendah ( $\leq 0,5$  Hz).

**Tabel 4.** Standar Deviasi Getaran

Titik Data	Sumbu	Nilai Deviasi Blynk (g)	Nilai Deviasi Serial Monitor (g)	Selisih Deviasi (g)
T1	X	0,0137	0,0259	0,0122
	Y	0,0163	0,0264	0,0101
	Z	0,0228	0,0347	0,0119
T2	X	0,0139	0,0235	0,0096
	Y	0,0195	0,0239	0,0045
	Z	0,0299	0,0344	0,0045
T3	X	0,0139	0,0267	0,0128
	Y	0,0285	0,0299	0,0015
	Z	0,0313	0,0327	0,0014

## 5. KESIMPULAN

Alat ukur getaran dengan sensor MEMS berbasis IoT diprogram secara terstruktur dan dapat membaca nilai percepatan getaran dengan baik, selain itu penggunaan konsep IoT dalam alat ukur ini dapat memudahkan para pengguna untuk memonitoring percepatan getaran dari jarak yang jauh (*remote*) dengan bantuan *platform* Blynk. Berdasarkan standar deviasinya alat ini dapat memberikan hasil pengukuran percepatan maksimum getaran dengan variabilitas yang rendah.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Program Studi Fisika, Universitas Mulawarman, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah memberikan tempat penelitian yang nyaman sehingga dapat menyelesaikan penelitian ini, serta kepada tim fisika Elins 2019 yang telah banyak memberikan kontribusi bantuan dalam pelaksanaan riset ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Purwanto, H., & Hariadi, G. (2018). Analisis Perbandingan Jembatan Tipe Parker Dan Tipe Warren Dengan Bentang 50 Meter. *Jurnal Deformasi*, 3(1), 67.
- [2] Eberle, Robert., Oberguggenberger, Michael. (2023). Vibration of Bridge with Random Structural Irregularities under Random Traffic Load and a Probabilistic Struvtrual Degradation Assessment Approach. *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 11, 1851-1865.
- [3] Saputra, Andika, Arief., Priyosulistyo., Muslikh. (2020). Analisis Nilai kapasitas Struktur Atas Jembatan Dengan Menggunakan Metode Rating Factor. *Jurnal INERSIA*, XVI (1), 1-12.
- [4] Adams Jr, M. L. (2010). *Rotating Machinery Vibration from Analysis to TroubleShooting* (2nd ed.). CRC Press Taylor and Francis Group.
- [5] Sadeghi Eshkevari, S., Pakzad, S. N., Takáč, M., & Matarazzo, T. J. (2020). Modal identification of bridges using mobile sensors with sparse vibration data. *Journal of Engineering Mechanics*, 146(4), 04020011.
- [6] Adeli, H., & Kim, H. (2022). *Wavelet-based vibration control of smart buildings and bridges*. CRC Press.
- [7] Lorenzoni, F., De Conto, N., da Porto, F. et al. Ambient and free-vibration tests to improve the quantification and estimation of modal parameters in existing bridges. *J Civil Struct Health Monit* 9, 617–637 (2019).
- [8] Najmurrokhman, A., Komarudin, U., Annas, A. M., & Rahim, R. (2019, December). Design and realization of a low-cost clinometer based on ADXL345 sensor, ultrasonic sensor, and android-based smartphone. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1424, No. 1, p. 012006). IOP Publishing.
- [9] Ramakrishnan R, Doherty A, Smith-Byrne K, Rahimi K, Bennett D, Woodward M, et al. (2021). Accelerometer measured physical activity and the incidence of cardiovascular

- disease: Evidence from the UK Biobank cohort study. *PLoS Med*, 18(1): e100348.
- [10] Nooruddin, S., Islam, M.M., Sharna, F.A. Sensor-based fall detection systems: a review. *J Ambient Intell Human Comput* 13, 2735-2751 (2022).
- [11] Rohman, A. Z., & Djunaidi. (2015). Rancang Bangun Alat Ukur Getaran Menggunakan Sensor Micro Electro Mechanical System (Mems) Akselerometer. *Edu Elektrika Journal*, 4(1), 8–16.
- [12] Babatain, Wedyan., Bhattacharjee, Sumana., Hussain, Aftab M., Hussain, Muhammad Mustafa. (2021). Acceleration Sensors: Sensing Mechanisms, Emerging Fabrication Strategies, Materials, and Applications. *ACS Publications*, 3(2), 504-531.
- [13] Genadiarto, A. S., Noertjahyana, A., & Kabzar, V. (2017). Introduction of Internet of Thing Technology Based on Prototype. *Jurnal Informatika*, 14(1), 47–52.
- [14] Nguyen, D. C., Ding, M., Pathirana, P. N., Seneviratne, A., Li, J., Niyato, D., ... & Poor, H. V. (2021). 6G Internet of Things: A comprehensive survey. *Internet of Things Journal*, 9(1), 359-383.
- [15] Pramudya, Y., & Islamiah, M. (2019, November). Vibration characteristics study on observatory using accelerometer ADXL345 sensor and Arduino. In *AIP Conference Proceedings*, 2169(1). AIP Publishing.
- [16] Analog Device. (2022). *Data Sheet ADXL345*.
- [17] Sulistiyanti, S. R., & Junaidi, J. (2022). Hasil Pengujian Kalibrasi Sensor Akselerometer ADXL345. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*.
- [18] Malik, P. K., Sharma, R., Singh, R., Gehlot, A., Satapathy, S. C., Alnumay, W. S., ... & Nayak, J. (2021). Industrial Internet of Things and its applications in industry 4.0: State of the art. *Computer Communications*, 166, 125-139.
- [19] Serror, M., Hack, S., Henze, M., Schuba, M., & Wehrle, K. (2020). Challenges and opportunities in securing the industrial internet of things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(5), 2985-2996.
- [20] Susilawati, S., & Ashari, M. (2018). Perancangan Jaringan Closed Circuit Television (CCTV) Berbasis Online Sebagai Monitoring Pada SDN 4 Praya. *Jurnal Manajemen Informatika Dan Sistem Informasi*, 1(1), 11.
- [21] Gunawan, I., Akbar, T., & Ilham, M. G. (2020). Prototipe penerapan Internet Of Things (Iot) pada monitoring level air tandon menggunakan nodemcu Esp8266 dan Blynk. *Infotek: Jurnal Informatika dan Teknologi*, 3(1), 1-7.
- [22] Wijayanti, M. (2022). Prototype Smart Home Dengan Nodemcu Esp8266 Berbasis IoT. *Jurnal Ilmiah Teknik*, 1(2), 101–107.
- [23] Parihar, Y. S. (2019). Internet of things and NodeMCU. *Journal of emerging technologies and innovative research*, 6(6), 1085.
- [24] Systems, E. (2017). Introduction to NodeMCU ESP8266 IoT EDU. In *eintrinsic*.
- [25] Vaza, Herry., Irawan, Rulli R., Sukmara, Gatot., Riza, Achmad.2017. *Penentuan Nilai Kondisi & Tingkat Kenyamanan Jembatan: Korelasi Degradasi Frekuensi Alami*. 1. Pusat Litbang Jalan dan Jembatan: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.