

# PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM UJI STRUKTUR BETON PADA JEMBATAN MENGGUNAKAN SENSOR GEOPHONE

## *DESIGN AND IMPLEMENTATION SYSTEM OF CONCRETE STRUCTURE TEST ON BRIDGE USING GEOPHONE SENSOR*

Rahadian Reza Rizaldy<sup>1</sup>, Muhammad Ary Murti<sup>2</sup>, Rizki Ardianto Priramadhi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>rahadianreza@telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>ary.murti@gmail.com, <sup>3</sup>rizkia@telkomuniversity.ac.id

---

### Abstrak

Meningkatnya populasi penduduk setiap tahun membuat semakin banyak pemilik kendaraan bermotor dan mobil yang mengakibatkan penuhnya akses jalan raya, tidak hanya jalan raya saja yang mengalami kepadatan adapun jembatan yang menjadi salah satu faktor kepadatan dikarenakan banyaknya kendaraan bermotor dan mobil yang melintas tidak hanya itu disaat waktu tertentu jembatan pun akan padat dan mengalami getaran yang cukup terasa karena beban pikul yang ditahan oleh jembatan berbeda beda, semakin besar beban yang ditahan oleh jembatan maka semakin bergetar jembatan tersebut, oleh karena itu penulis akan membuat suatu alat menggunakan sensor geophone yang dapat mengukur seberapa besar getaran pada jembatan dan menganalisa seberapa kuat beton bekerja pada jembatan yang sering terjadi kepadatan ,dengan adanya elastomer atau bantalan karet yang digunakan diantara abutment dengan perletakan jalan makan elastomer akan meredam getaran yang terjadi akibat beban yang dipikul jembatan.

Alat ini akan menggunakan komponen utama berupa sensor geophone, geophone adalah perangkat yang mengkonversi gerakan tanah menjadi tegangan, Geophone merupakan transducer pergerakan tanah yang sangat sensitif. Sebuah geophone mengubah energi seismik, atau vibrasi, menjadi tegangan listrik yang dapat diukur secara akurat.

Dalam penelitian ini, didapatkan bahwa dalam pemantauan sensor geophone dapat mengetahui besarnya tegangan dan defleksi yang terjadi ketika kendaraan melintas di jembatan, untuk mengolah data pada sistem ini menggunakan mikrontroler berupa Arduino uno dan ditampilkan dalam data excel untuk mempermudah pendataan. Dari penelitian ini dapat disimpulkan dengan defleksi maksimum sebesar 0,9 cm atau 0,009 meter pada saat beban 2 ton sampai 10 ton di Jembatan Tol Kopo, sementara itu ketika beban kendaraan sebesar 2 ton sampai 10 ton akan terjadi defleksi maksimum hingga 2 cm pada Jembatan Cilampeni

**Kata kunci : geophone, elastomer, Arduino uno, energi seismik.**

### Abstract

The increase in population every year makes more and more owners of motorized vehicles and cars resulting in full access to the highway, not only the highway that experiences density while the bridge is one of the factors of density due to the number of motorized vehicles and cars that pass not only at a certain time the bridge will be congested and experience enough vibrations because the load carried by the bridge is different, the greater the load held by the bridge, the more the bridge vibrates, therefore the writer will make an instrument using a geophone sensor that can measure how much vibration on the bridge and analyze how strong concrete works on the bridge which often occurs density, with the elastomer or rubber pads used between abutments with the placement of the elastomer feeding road will reduce vibrations that occur due to the burden carried by the bridge. This tool will use the main components in the form of geophone sensors, geophone is a device that converts ground motion into voltage, Geophone is a transducer of ground movement that is very sensitive. A geophone converts seismic energy, or vibration, into an electric voltage that can be measured accurately.

In this study, it was found that in monitoring geophone sensors can find out the amount of voltage and deflection that occurs when a vehicle crosses the bridge, to process data in this system using a microcontroller in the form of Arduino uno and displayed in excel data to facilitate data collection. From this study it can be concluded with a maximum deflection of 0.9 cm or 0.009 meters at a time of 2 tons to 10 tons on the Kopo Tol Bridge, meanwhile when a vehicle load of 2 tons to 10 tons will occur a maximum deflection of up to 2 cm on the Cilampeni Bridge.

**Keywords:** geophone, elastomer, Arduino uno, seismic energy

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Jembatan

Jembatan adalah suatu struktur bangunan yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai, saluran irigasi dan pembuangan, jalan kereta api, waduk, dan lain-lain. Desain dari jembatan bervariasi tergantung pada fungsi dari jembatan atau kondisi bentuk permukaan bumi dimana jembatan tersebut dibangun[1].

### 2.2 Kesehatan Jembatan

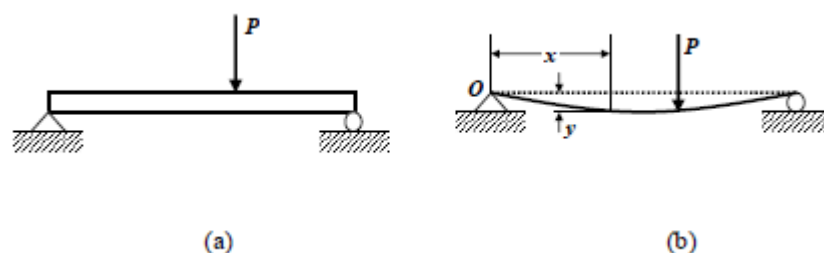
Tujuan utama dari pemantauan kesehatan jembatan adalah mengidentifikasi gejala kerusakan di kondisi terkini berdasarkan tanda-tanda vibrasi ketika dilalui oleh beban kendaraan melalui identifikasi defleksi yang dihasilkan dari kendaraan yang melintas. Keluaran akhir dari pemantauan ini adalah tingkat kesehatan jembatan dan pengukuran beban jembatan yang didefinisikan sebagai nilai jembatan yang masih dapat melakukan layanannya secara aman ketika menerima beban kendaraan yang melintasinya[5]

### 2.3 Bearing Jembatan

Bearing merupakan tumpuan pada konstruksi jembatan yang berfungsi meredam dan mengakomodasi pergerakan konstruksi pada bagian atas jembatan yang diakibatkan oleh gaya-gaya yang bekerja pada jembatan seperti beban mati (dead load), beban hidup (live load), beban angin, gaya rem, dll. Dengan diimplementasikannya sistem bearing ini, maka konstruksi struktur atas jembatan memungkinkan untuk dapat bergerak sekaligus meredam gaya-gaya yang membahayakan struktur sehingga pengguna jembatan aman menggunakan jembatan[10]

### 2.2 Defleksi

Defleksi adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah  $y$  akibat adanya pembebanan vertical yang diberikan pada balok atau batang. Deformasi pada balok secara sangat mudah dapat dijelaskan berdasarkan defleksi balok dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Konfigurasi yang diasumsikan dengan deformasi permukaan netral dikenal sebagai kurva elastis dari balok. Gambar 1(a) memperlihatkan balok pada posisi awal sebelum terjadi deformasi dan Gambar 1(b) adalah balok dalam konfigurasi terdeformasi yang diasumsikan akibat aksi pembebanan[9].



**Gambar II- 1** (a) Balok sebelum terjadi deformasi,(b) balok dalam kondisi terdeformasi

Jarak perpindahan  $y$  didefinisikan sebagai defleksi balok. Dalam penerapan, kadang kita harus menentukan defleksi pada setiap nilai  $x$  disepanjang balok. Hubungan ini dapat ditulis dalam bentuk persamaan yang sering disebut persamaan defleksi kurva (atau kurva elastis) dari balok.

Sistem struktur yang di letakkan horizontal dan yang terutama di peruntukkan memikul beban lateral,yaitu beban yang bekerja tegak lurus sumbu aksial batang .Beban semacam ini khususnya muncul sebagai beban gravitasi,seperti misalnya bobot sendiri,beban hidup vertical,beban keran(crane) dan lain-lain.contoh system balok dapat di kemukakan antara lain,balok lantai gedung,gelagar jembatan,balok penyangga keran,dan sebagainya.Sumbu sebuah batang akan terdeteksi dari kedudukannya semula bila benda dibawah pengaruh gaya terpakai. Dengan kata lain suatu batang akan mengalami pembebanan transversal baik itu beban terpusat maupun terbagi merata akan mengalami defleksi. Unsur-unsur dari mesin haruslah cukup tegar untuk mencegah ketidakbarisan dan mempertahankan ketelitian terhadap pengaruh beban dalam gedung-gedung,balok lantai tidak dapat melentur secara berlebihan untuk meniadakan pengaruh psikologis yang tidak diinginkan para penghuni dan untuk memperkecil atau mencegah dengan bahan-bahan jadi yang rapuh[9].

Begitu pun kekuatan mengenai karakteristik deformasi dari bangunan struktur adalah paling penting untuk mempelajari getaran mesin seperti juga bangunan-bangunan stasioner dan penerbangan.dalam menjalankan fungsinya,balok meneruskan pengaruh beban gravitasi keperletakan terutama dengan mengandalakan aksi lentur,yang berkaitan dengan gaya berupa momen lentur dan geser.kalaupun timbul aksi normal,itu terutama di timbulkan oleh beban luar yang relative kecil,misalnya akibat gaya gesek rem kendaraan pada gelagar jembatan,atau misalnya akibat perletakan yang di buat miring[9].

Hal-hal yang mempengaruhi terjadinya defleksi yaitu :

1. Kekakuan batang

Semakin kaku suatu batang maka lendutan batang yang akan terjadi pada batang akan semakin kecil

2. Besarnya kecil gaya yang diberikan

Besar-kecilnya gaya yang diberikan pada batang berbanding lurus dengan besarnya defleksi yang terjadi. Dengan kata lain semakin besar beban yang dialami batang maka defleksi yang terjadi pun semakin kecil

3. Jenis tumpuan yang diberikan

Jumlah reaksi dan arah pada tiap jenis tumpuan berbeda-beda. Jika karena itu besarnya defleksi pada penggunaan tumpuan yang berbeda-beda tidaklah sama. Semakin banyak reaksi dari tumpuan yang melawan gaya dari beban maka defleksi yang terjadi pada tumpuan rol lebih besar dari tumpuan pin (pasak) dan defleksi yang terjadi pada tumpuan pin lebih besar dari tumpuan jepit.

4. Jenis beban yang terjadi pada batang

Beban terdistribusi merata dengan beban titik,keduanya memiliki kurva defleksi yang berbeda-beda. Pada beban terdistribusi merata slope yang terjadi pada bagian batang yang paling dekat lebih besar dari slope titik. Ini karena sepanjang batang mengalami beban sedangkan pada beban titik hanya terjadi pada beban titik tertentu saja

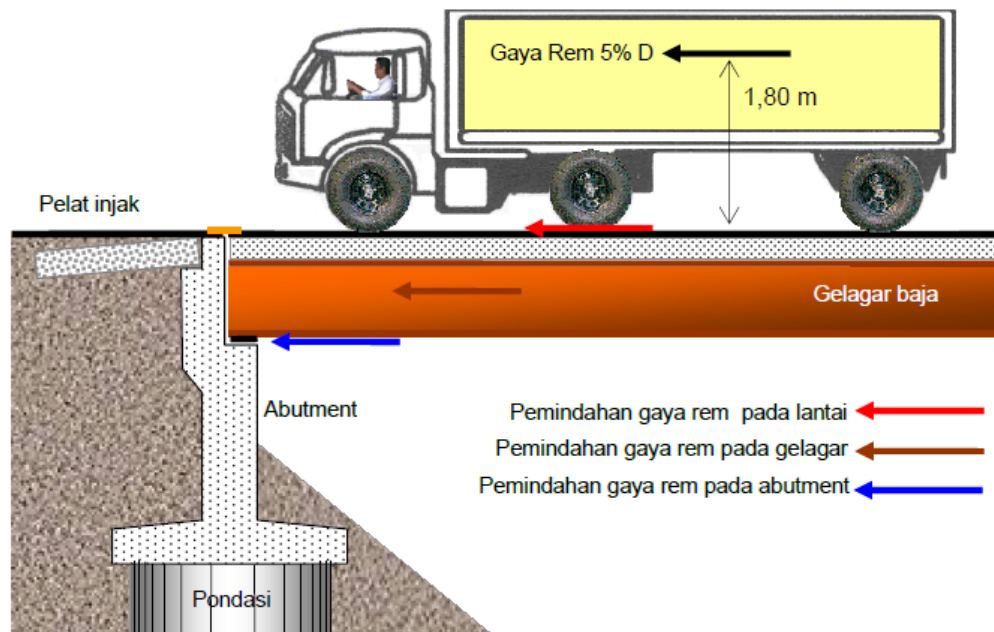
### 2.3 Aplikasi Defleksi Pada Jembatan

Aplikasi lendutan batang mempunyai peranan penting pada jembatan. Sebuah jembatan yang fungsinya menyebrangkan benda atau kendaraan di atasnya mengalami beban yang sangat besar dan dinamis yang bergerak di atasnya. Hal ini tentunya akan mengakibatkan terjadinya lendutan batang atau defleksi pada batang

konstruksi jembatan tersebut. Defleksi yang terjadi secara berlebihan tentunya akan mengakibatkan perpatahan pada jembatan tersebut[16].

## 2.4 Gaya Rem

Bekerjanya gaya-gaya di arah memanjang jembatan, akibat gaya rem dan traksi, harus ditinjau untuk kedua jurusan lalu lintas. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan gaya rem sebesar 5% dari beban lajur yang dianggap ada pada semua jalur lalu lintas, tanpa dikalikan dengan faktor beban dinamis dan dalam satu jurusan. Gaya rem tersebut dianggap bekerja horisontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,8 m di atas permukaan lantai kendaraan. Beban lajur disini jangan direduksi bila panjang bentang melebihi 30 m, Dalam memperkirakan pengaruh gaya memanjang terhadap perletakan dan bangunan bawah jembatan, maka gesekan atau karakteristik perpindahan geser dari perletakan ekspansi dan kekakuan bangunan bawah harus diperhitungkan. Gaya rem tidak boleh digunakan tanpa memperhitungkan pengaruh beban lalu lintas vertikal. Dalam hal dimana beban lalu lintas vertikal mengurangi pengaruh dari gaya rem (seperti pada stabilitas guling dari pangkal jembatan), maka Faktor Beban Ultimit terkurangi sebesar 40% boleh digunakan untuk pengaruh beban lalu lintas vertikal[16].



Gambar II- 2 Gaya rem

## 2.5 Hubungan Kesehatan Jembatan Terhadap Getaran

Getaran yang diakibatkan oleh adanya kendaraan yang lewat diatas jembatan merupakan keadaan batas daya layan apabila tingkat getaran menimbulkan bahaya dan ketidaknyamanan, Getaran yang terjadi secara berlebihan dari kendaraan akan menimbulkan kelelahan pada jembatan tersebut. Dalam keadaan batas ultimit jembatan akan mengalami hilangnya keseimbangan statis, ketidak stabilan inelastic dan keruntuhan[16].

Untuk kenyamanan pengguna jembatan bisa digunakan batasan kinerja layan jembatan sebagai berikut:

- Untuk kenyamanan perjalanan, bisa ditinjau dari aspek percepatan dan getaran dari komponen struktur jembatan yang dirasakan oleh pengguna jembatan, dan jenis perkerasan lantai kendaraannya.
- Kenyamanan berdiri bisa ditinjau dari besaran deformasi struktur jembatan.
- Anti getaran bisa ditinjau dari aspek tingkat getaran disekitar struktur jembatan dan periode dasar alami getarannya.

Besaran pengukuran getaran yang di lakukan pada Tugas Akhir ini adalah percepatan dikarenakan sensor yang digunakan adalah sensor geophone yang mendeteksi percepatan dengan satuan  $m/s^2$  yang dihasilkan sebagian besar oleh kendaraan yang melintas di atas jembatan, percepatan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$a = \frac{F}{m} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

a = Percepatan ( $m/s^2$ )

m = Massa (m)

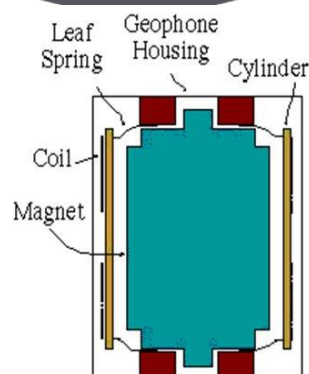
F = Gaya (N)

## 2.6 Hubungan Kesehatan Jembatan Terhadap Defleksi

Defleksi mempengaruhi kesehatan jembatan dikarenakan defleksi yang terjadi pada Tugas Akhir ini adalah perubahan bentuk pada beton dalam arah y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada beton. Defleksi dapat dilihat dengan cara melihat selisih dari posisi permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi[16]. Semakin besar defleksi yang terjadi pada jembatan maka jembatan bisa mengalami ambuk dikarenakan defleksi yang besar menandakan kekuatan material sudah tidak kuat. Defleksi bersatuan panjang yaitu meter (m), sentimeter (cm), millimeter (mm).

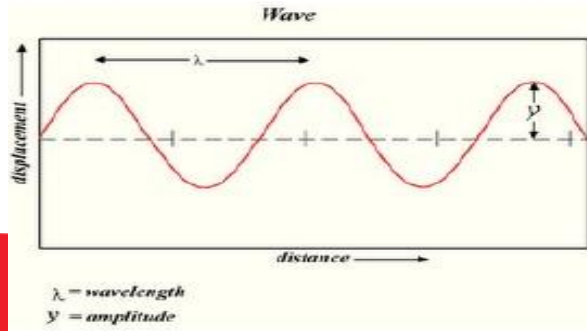
## 2.7 Geophone

*Geophone* adalah sensor yang dapat mengukur getaran yang merambat. sebuah geophone umumnya adalah kumparan yang digantung oleh pegas di sekitar magnet permanen, yang semuanya terkandung dalam selubung pelindung. Saat koil bergerak relatif terhadap magnet, tegangan diinduksi dalam koil yang tergantung pada kecepatan relatif antara koil dan magnet[7].



Gambar II- 3 Sensor Geophone

Prinsip kerja Getaran yang disebabkan oleh beban pikul jembatan yang mengenai geophone menyebabkan pegas yang ada di dalamnya beresilasi. Gerak osilasi pegas tersebut menyebabkan terjadinya fluks karena lilitan yang berubah posisi terhadap magnet. Karena adanya fluks muncul GGL induksi. GGL induksi adalah beda potensial yang terjadi pada ujung-ujung kumparan karena pengaruh induksi elektromagnetik. Tegangan induksi yang terdeteksi pada lilitan kawat sebanding dengan besarnya getaran yang ditangkap oleh sensor. Output dari sensor geophone adalah sebuah tegangan yang dapat digambarkan sebagai sinyal sinusoidal.



Gambar II- 4 Sinyal Sinusoidal

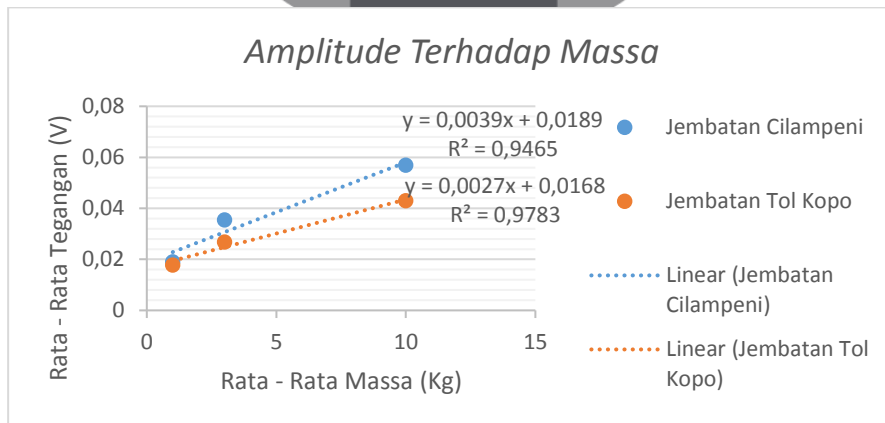
Geophone bekerja berdasarkan Hukum Faraday, di mana pada sebuah kumparan akan terjadi arus listrik apabila pada kumparan tersebut terjadi perubahan fluks magnet. Besar tegangan akan berbanding lurus dengan besar perubahan fluks. Yang dinyatakan dalam persamaan :

$$\epsilon = -N (\Delta\Phi/\Delta t) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

- $\epsilon$  = GGL induksi (volt)
- N = Jumlah lilitan kumparan
- $\Delta\Phi$  = Perubahan fluks magnetik (weber)
- $\Delta t$  = selang waktu (s)
- Tanda negatif menandakan arah gaya gerak listrik (ggl) induksi.

hubungan defleksi antara massa dan amplitude sangat diperhatikan dikarenakan saling berhubungan jika massa beban besar maka defleksi yang terjadi pun besar dan jika getaran tinggi akan menandakan amplitude yang tinggi.



Gambar II-5 Grafik Rata – Rata Tegangan Terhadap Rata – Rata Massa

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang sudah di dapat, maka penulis mendapatkan kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perancangan sistem sensor geophone berhasil direalisasikan dengan menggunakan Arduino Uno, Sensor Geophone, dan modul ADS1115.
2. Sistem sudah di kalibrasi menggunakan *power supply* dengan hasil yang akurat.
3. Kendaraan pribadi memberikan defleksi yang kecil ketika melintasi jembatan dan jembatan masih sangat layak untuk digunakan.
4. Kendaraan truk kecil memberikan defleksi cukup besar namun masih dibawah batas standar pembebanan jembatan.
5. Kendaraan truk besar memberikan defleksi maksimal batas pembebanan jembatan namun jembatan masih bisa digunakan karena tidak melebihi ketentuan pembebanan jembatan.
6. Jembatan sehat dikarenakan seluruh analisa dan pengambilan data tidak melebihi dari batas yang sudah di tentukan dalam pembebanan jembatan.

### 6.1 Saran

Saran untuk pengembangan selanjutnya yang dapat dilakukan untuk melanjutkan Tugas Akhir yaitu:

1. Penambahan fitur dengan menambahkan database untuk penyimpanan pada web server.
2. Adanya aplikasi IOT untuk mempermudah *monitoring*.
3. Mounting yang lebih rigid agar pengukuran lebih maksimal.

### Daftar Pustaka:

[1] Seno Adi Putra, Gede Agus Andika Sani, Adi Trisna Nurwijaya, Abikarami Anandadiga, Pratama Budi Wijayanto, Bambang Riyanto Trilaksono, Muhammad Riyansyah, " Sistem Penilaian Kondisi Jembatan Menggunakan Respons Dinamik dengan *Wireless Sensor Network*," ISSN 2301 – 4156, 2018

[2]C. Tschope dan M. Wolff, "Statistical Classifiers for Structural Health Monitoring," *IEEE Sensors Journal*.

[3] E. Sazonov, H. Li, D. Curry, dan P. Pillay, "Self-Powered Sensor for Monitoring of Highway Bridges," *IEEE Sensor Journal*.

[4] M. Lydon, S. E. Taylor, D. Robinson, P. Callender, dan C. Doherty, "Development of a Bridge Weighted-in-Motion Sensor: Performance Comparison Using Fiber Optic and Electric Resistance Strain Sensor System," *IEEE Sensors Journal*.



- [5] A. Araujo, J. García-Palacios, J. Blesa, F. Tirado, dan E. Romero, "Wireless Measurement System for Structural Health Monitoring With High Time-Synchronization Accuracy," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*.
- [6] A. A. Islam, F. Li, H. Hamid, dan A. Jaroo, "Bridge Condition Assessment and Load Rating Using Dynamic Response," YoungsTown State University, Ohio, Final Report 134695, 2014.
- [7] K. Mohamad," Perancangan Sistem Akuisisi Data Gelombang Seismik Berbasis Mikrokontroler H8/3069F,"Universitas Indonesia, 2009
- [8] Faiz Naufal. (2018). Pemantauan Lendutan dan Frekuensi Alami Struktur Jembatan Menggunakan Algoritma Fast Fourier Transform."Universitas Telkom.
- [9]. Defleksi pada Jembatan Beton [Online]. Available : <http://repository.unhas.ac.id/bitstream/handle/123456789/4463/AB%20%2011.pdf?sequence=2>
- [10]. Jenis Elastomeric Bearing Pad dan Fungsinya [Online]. Available: <https://www.industrikaret.com/jenis-elastomeric-bearing-pad.html>
- [11]. Pengertian Arduino Uno [Online]. Available: <https://ilearning.me/sample-page-162/arduino/pengertian-arduino-uno/>.
- [12]. Jembatan Roboh Diduga Karena Minimnya Perawatan [Online]. Available : <http://www.rmol.co/read/2012/01/27/53120/18-Jembatan-Roboh-Diduga-Karena-Minimnya-Perawatan/>
- [13]. Karakteristik Getaran" [Online]. Available : <http://www.vibrasindo.com/blogvibrasi/detail/21/apa-itu-getaran-atau-vibration/>
- [14] Nababan, Poltak H. A. "Structural Health Monitoring System Alat Bantu Mempertahankan Usia Teknis Jembatan, presented at Construction and Maintenance Main Span Suramadu Bridge, Surabaya, 2008.
- [15] Mengakses module ADC ADS1115 [Online]. Available : <https://www.nyebarilmu.com/cara-mengakses-module-adc-ads1115/>
- [16] RSNI T-02-2005. "Standar Pembebanan untuk Jembatan, Badan Standardisasi Nasional,2005.
- [17] RSNI T-12-2004. "Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan,Badan Standardisasi Nasional,2004.