

Perancangan *weigh in motion* Untuk Sistem Pengukuran Kapasitas Jembatan Berbasis Perubahan Frekuensi Respons Struktur

Design weigh in motion for Bridge Capacity Measurement System Based on Change in Structure Frequency Response

Achmad Irjik Ubay¹, Seno Adi Putra, S.T., M.T.², Alvi Syahrina, S.T., M.Sc.³

^{1,2,3}Prodi S1 Sistem Informasi, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom
¹aiubay@student.telkomuniversity.ac.id, ²senoadiputra@telkomuniversity.co.id,
³alvisyahrina@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Jembatan merupakan sebuah infrastruktur yang di buat untuk menghubungkan dua bagian jalan untuk melewati rintangan dan medan alam seperti sungai dan lembah. Beberapa daerah menganggap jembatan lebih efisien di bandingkan dengan alternatif lainnya seperti menyeberangi sungai atau mengambil jalan memutar. Terjadinya kerusakan jembatan adalah sebuah masalah serius, karena jembatan merupakan infrastruktur penghubung antar tempat yang di gunakan untuk mengangkut barang atau transportasi antar pulau. Kerusakan jembatan juga mengakibatkan terganggunya aktivitas warga. Pengawasan jembatan perlu dilakukan dikarenakan performa jembatan berkurang seiring dengan waktu. Kerusakan jembatan masih menjadi masalah pada di Indonesia, lebih dari 70 jembatan rusak pada tahun 2018. Untuk meminimalisir kerusakan pada jembatan dibutuhkan sebuah sistem agar dapat memantau kondisi jembatan secara *real-time* dan data yang akurat sehingga pemerintah dapat melakukan tindakan sebelum jembatan rusak. Pada penelitian ini akan membuat sistem informasi pemantauan kondisi jembatan dengan menggunakan *Wireless Sensor Network* yang terintegrasi dengan *Structural Health Monitoring System*.

Kata kunci: *wireless sensor network, structural health monitoring system, jembatan*

Abstract

The bridge is an infrastructure that is made to connect two parts of the road to pass obstacles and natural terrain such as rivers and valleys. Some areas consider bridges to be more efficient compared to other alternatives such as crossing rivers or taking detours. Bridge damage is a serious problem, because the bridge is an inter-place connecting infrastructure used for transporting goods or inter-island transportation. Damage to the bridge can also result in disruption of residents' activities. Bridge supervision needs to be done because the bridge's performance decreases with time. Bridge damage is still a problem in Indonesia, more than 70 bridges were damaged in 2018. To minimize bridge damage, a system is needed to monitor the condition of the bridge in real time and accurate data so that the government can take action before the bridge is damaged. In this study will create a bridge condition monitoring information system using the Wireless Sensor Network that is integrated with the Structural Health Monitoring System.

Keywords: *wireless sensor network, structural health monitoring system, bridge.*

1. Pendahuluan

Jembatan merupakan sebuah infrastruktur yang dibuat menghubungkan dua bagian jalan untuk melewati rintangan dan medan alam yang ada seperti sungai, dan lembah. Banyak daerah yang memanfaatkan jembatan sebagai satu-satunya sarana penghubung. Beberapa daerah menganggap jembatan lebih efisien dibandingkan dengan penghubung sebelumnya seperti menyeberangi jembatan daripada menyeberangi sungai atau jalan memutar. Semakin tahun usia jembatan pun bertambah. Pemeliharaan jembatan ini diperlukan untuk menjaga kondisi jembatan tetap aman. Berdasarkan data dari website kementerian PU, Indonesia telah membangun 174 buah jembatan dengan total panjang 13.639 meter pada tahun 2018[1]. Terjadinya kerusakan seperti pada runtuhnya jembatan Kutai Kartanegara di Tenggarong Kalimantan Timur adalah sebuah masalah serius, karena jembatan merupakan infrastruktur penghubung antar tempat.

Jumlah jembatan yang banyak dan Jembatan yang penting itu dapat menimbulkan masalah tersendiri. Tidak semua jembatan tercatat berada pada kondisi yang baik. Pemerintahan daerah bertanggung jawab atas pembangunan, perawatan dan pengecekan/pengawasan jembatan yang ada pada daerahnya. Biaya untuk melakukan pengecekan dan perawatan jembatan masih sangat besar dan dapat memakan anggaran yang tidak

sedikit. Biaya perawatan dikeluarkan tergantung dengan kondisi jembatan, sehingga semakin parah kondisi jembatan maka semakin besar juga pengeluaran yang harus di keluarkan oleh pemerintah. Pengecekan dan perawatan juga harus dilakukan secara berkala dengan mengirim staf ke lapangan atau ke jembatan yang akan di periksa dan hasil dari pemeriksaan tersebut akan menjadi rujukan pada keputusan yang diambil oleh pemerintah terhadap jembatan tersebut.

Proses pengecekan biasanya dilakukan dengan cara manual. Tim pengecekan secara rutin setiap tahunnya menuju ke jembatan yang akan di cek dengan membawa semua peralatan yang diperlukan. Peralatan dipasang satu per satu dan dilakukan simulasi untuk memastikan *setting* bekerja dengan baik. Pengecekan dengan cara ini tidak efisien dan efektif karena dapat memakan biaya dan waktu yang besar, kemudian data yang di peroleh juga dapat berbeda-beda dan juga pengawasan yang dilakukan tidak secara *real-time* yang mana dapat memakan waktu yang tidak sedikit, sehingga pencegahan kerusakan jembatan ketika secara tiba-tiba yang disebabkan oleh faktor alam tidak dapat di atasi. Maka di perlukan suatu sistem yang dapat melakukan pengawasan pada jembatan dengan waktu yang cepat, biaya yang rendah, ketepatan data yang akurat, dan dilakukan secara *real-time*.

Untuk memperkecil hal itu terjadi maka perlu adanya sistem pemantauan secara berkala sehingga diterapkanlah *Structural Health Monitoring System* (SHMS) Jembatan. SHMS adalah konsep dimaksudkan untuk memantau perilaku struktural secara *real-time*, mengevaluasi kinerja struktural di bawah berbagai beban dan mengidentifikasi kerusakan struktural untuk memahami kondisi kesehatan struktural. Untuk memastikan pengelolaan jembatan yang efisien dan ilmiah, *Structural Health Monitoring System* (SHMS) berdasarkan data waktu nyata sedang diadopsi secara meningkat untuk jembatan yang baru dibangun dan beberapa jembatan yang ada. Penggunaan SHMS dapat di integrasikan dengan penggunaan *Wireless Sensor Network* (WSN) yang merupakan perangkat nirkabel yang dipasang di jaringan berskala besar yang memiliki kemampuan melakukan pendeteksian, komputasi dan komunikasi.

Berdasarkan masalah tersebut yang telah dijelaskan, maka perlu di buat suatu sistem untuk menyelesaikan permasalahan yang ada saat ini. Dengan membuat sebuah sistem yang dapat melakukan pengecekan secara *real-time* dan terus-menerus yang menghasilkan data yang akurat yang diharapkan menjadi suatu solusi untuk menyelesaikan masalah di atas.

2. Dasar Teori dan Sistematika Penelitian

2.1 Jembatan

Jembatan adalah suatu konstruksi yang mempunyai fungsi untuk menghubungkan dua buah bagian jalan yang terputus yang dikarenakan adanya rintangan seperti lembah yang dalam dan medan alam seperti laut[1]. Berdasarkan kegunaannya jembatan dibangun untuk kendaraan, kereta api, dan pejalan kaki. Pada beberapa kasus, ada beberapa jembatan yang dibatasi penggunaannya, seperti jembatan khusus kendaraan, atau jembatan khusus pejalan kaki.

Pemeriksaan kondisi jembatan terdapat 4 jenis yang di tetapkan di dalam BMS untuk mengumpulkan data sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Inventarisasi: pemeriksaan ini dilaksanakan untuk mencatat data pada jembatan.
2. Pemeriksaan Detail: merupakan pemeriksaan yang bertujuan untuk mendata kondisi elemen pada level yang paling tinggi dan pada level ini semua elemen memiliki kondisi yang sama.
3. Pemeriksaan rutin: pemeriksaan ini dilaksanakan tahunan untuk memastikan bahwa perubahan-perubahan yang tiba-tiba atau yang tidak terduga.
4. Pemeriksaan khusus: pemeriksaan ini di perlukan jika inspektur kekurangan informasi, pelatihan, atau pengalaman untuk menilai secara tepat kondisi jembatan.

2.2 SHMS

SHMS adalah konsep yang cukup baru untuk bidang teknik sipil dan dimaksudkan untuk memantau perilaku struktural secara *real-time*, mengevaluasi kinerja struktural di bawah berbagai beban dan mengidentifikasi kerusakan struktural atau kerusakan, untuk memahami kondisi kesehatan struktural [2].

SHMS bergantung pada integrasi tiga sub sistem utama yang di implementasikan untuk memenuhi persyaratan SHMS dan mengatur kegiatan pemantauan. Ketiga sub sistem adalah: [3]

1. Sensing and data acquisition subsystem: Merupakan komponen dari akuisisi data meliputi sensor untuk mengamati dan mengukur data yang sesuai dalam berbagai kondisi lingkungan.
2. Data management subsystem: subsistem ini terdiri dari Teknik pengumpulan data, penyimpanan data serta pengolahan data untuk memberikan evaluasi terhadap kondisi pada struktur
3. Data access and retrieval subsystem: pada subsistem ini terdapat control dan akses data online atau offline. Analisis dan intepetasi informasi yang berguna untuk membantu pengambilan keputusan.

Pada WSN untuk sensor SHM digunakan di berbagai lokasi di seluruh struktur. Sensor-sensor ini mengumpulkan informasi tentang sekitarnya seperti akselerasi, getaran sekitar, beban, dan tegangan pada frekuensi pengambilan di atas 100 Hz[4]

Terdapat beberapa metode untuk mendeteksi kerusakan struktural(*Structural Damage Detection*) pada SHM. Metode-metode tersebut adalah [5]:

1. Non-Destructive Testing Method: Metode ini digunakan untuk mendeteksi kerusakan atau perubahan pada material dan untuk mengevaluasi kondisinya.
2. Vibration-based Damage Detection Method: Metode ini dikembangkan dengan premis bahwa kuantitas getaran yang diukur secara umum seperti waktu respon dan karakteristik getaran global.

3. Damage Detection Method With Consideration of Uncertainties: Metode ini merupakan deteksi kerusakan yang melibatkan sejumlah besar ketidakpastian.

2.3 Internet of Things

Internet of things Adalah paradigma baru yang dengan cepat mendapatkan landasan dalam skenario telekomunikasi nirkabel modern[6]. Istilah IoT secara semantik terkait dengan dua kata "*Internet*" dan "*Things*," di mana Internet dikenal sebagai sistem global yang menggunakan protokol TCP / IP untuk menghubungkan jaringan komputer yang berbeda, sedangkan *Things* mengacu pada objek yang mengelilingi kita dan memiliki kemampuan untuk merasakan dan mengumpulkan data tentang lingkungannya [3]. *Internet of Things* diharapkan menawarkan solusi yang menjanjikan untuk mengubah operasi dan peran dalam sistem.

Memahami IoT Building Blocks dapat membantu untuk mendapatkan wawasan yang lebih baik tentang makna dan fungsi dari IoT. Berikut enam elemen utama yang diperlukan untuk memberikan fungsionalitas IoT yaitu:

1. Identification : merupakan bagian penting bagi IoT untuk memberi nama dan mencocokkan layanan dengan permintaan meraka.
2. Sensing: Merupakan Cara IoT untuk mengumpulkan data dari objek terkait dalam jaringan dan mengirimkannya ke gudang data, basis data atau Cloud.
3. Communication: teknologi komunikasi yang terdapat pada IoT menghubungkan objek berbeda secara bersama-sama untuk memberikan layanan pintar yang spesifik.
4. Computation: Unit Pemrosesan dan aplikasi perangkat lunak mewakili "otak" dan kemampuan komputasi IoT.
5. Service
6. Semantics: kemampuan pada IoT untuk mengekstrak pengetahuan secara cerdas oleh mesin yang berbeda untuk menyediakan layanan yang diperlukan.

2.4 Wireless Sensor Network

Wireless Sensor Network telah digunakan banyak aplikasi pemantauan struktur sipil. WSN dibangun dengan node yang digunakan untuk mengamati lingkungan seperti suhu, kelembapan, tekanan, posisi, getaran, suara dan sejenisnya. Node ini digunakan dalam berbagai aplikasi real-time untuk melakukan berbagai tugas. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pemasangan SHMS pada WSN yaitu [4]:

1. Sensor dan parameter: salah satu hal penting ketika mendesain sistem SHM adalah pemilihan sensor dan parameter. Factor seperti konsumsi daya sensor dan sensing parameter mempengaruhi desain jaringan secara keseluruhan.
2. Damage detection Method: salah satu tujuan dari SHMS merupakan mendeteksi kerusakan struktural.
3. Damage Localization Method: setelah kerusakan terdeteksi maka diperlukan untuk menentukan lokasi kerusakan. Proses ini memerlukan pemasangan sensor yang cukup sehingga cakupan area sensor yang memadai dapat menemukan kerusakan pada struktur.

2.5 Weigh In Motion

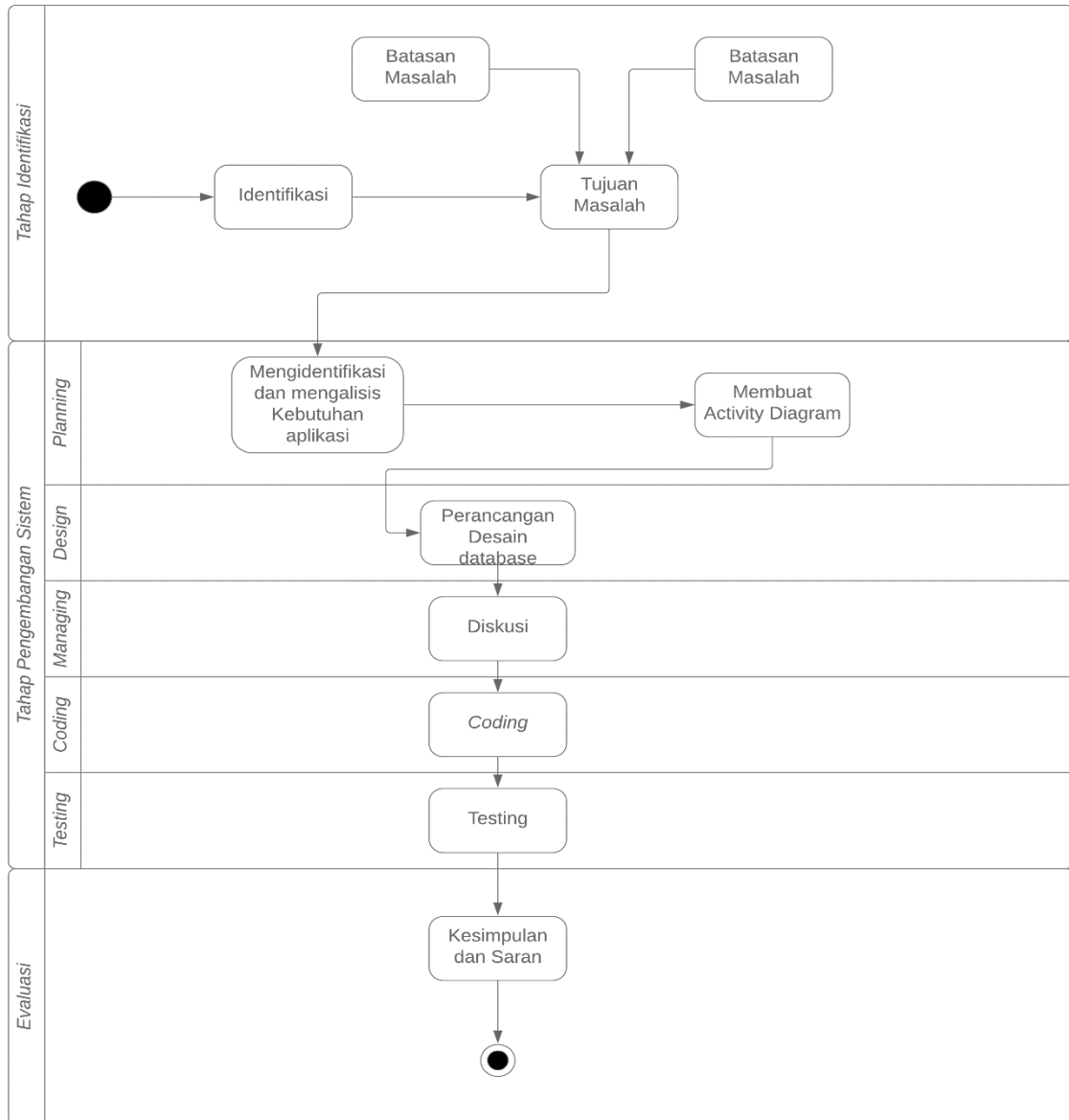
Metode yang digunakan untuk mengukur kendaraan selama mereka berjalan di jalan biasanya diketahui dengan teknologi *weigh in motion*. Keuntungan menggunakan WIM antara lain tidak mengganggu arus jalan raya, hemat waktu, dan efisiensi. WIM memiliki arti penting untuk pembangunan lalu lintas. Beberapa Teknik untuk pengukuran kendaraan yang bergerak yang sekarang menggunakan piezoelectric cables, capacitive mats, hydraulic dan bending-plate load cells[7]. WIM merupakan solusi inovatif dalam manajemen lalu lintas yang memungkinkan menimbang kendaraan tanpa kendaraan tersebut berhenti. Terdapat berbagai macam sensor yang digunakan untuk menganalisis sebuah berat kendaraan agar didapat data lalu lintas salah satunya adalah *Loadcell*.

Sebuah sistem WIM terdiri dari sensor berat, detector inductive loop dan sebuah interface komputer. Sistem wim merupakan perangkat major yang di gunakan untuk mengambil data otomatis yang termasuk berat kendaraan dan kecepatan. Informasi lalu lintas sangat penting untuk manajemen jalan raya, operasi dan kontrol lalu lintas, dan desain struktural[8].

2.6 Sistematika Penelitian

Sistematika penelitian merupakan bagian yang mendeskripsikan atau menjelaskan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian. Langkah pertama ialah identifikasi dari masalah hingga terakhir yaitu laporan atau kesimpulan dari penelitian.

Gambar 1 Sistematika Pemecahan Masalah

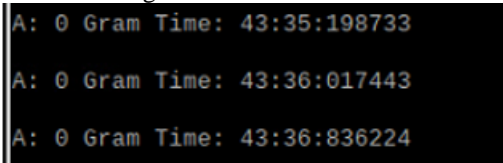
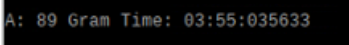



3. Pengujian

3.1. Pengujian

Pengujian dilakukan melalui dengan pengujian Black-box yang merupakan pengujian yang berfokus pada pengujian fungsional sistem. Biasanya Black-box testing digunakan untuk menguji fungsionalitas dan performa dari software atau aplikasi dari perspektif pengguna. Beberapa kecacatan yang paling umum dari pengujian Black-box seperti akses eror, interface eror, data eror, Missing function.

Tabel 1 Pengujian fungsional sensor

Requirement	Skenario Pengujian	Hasil yang diharapkan	Hasil pengujian
Hx711 Sensing Data	Mulai Sensing data 	Tampilkan bahwa hx711 di dapat memulai sensing data	Sesuai
Hx711 Get data	Ambil data 	Tampilkan data yang berhasil di dapat	Sesuai
Hx711 Kirim Data	Kirim data ke Database 	Tampilan jika data berhasil dikirim	Sesuai

Pengujian Kinerja juga di lakukan untuk mengetes kinerja dari sistem Sensor HX711 dan Sink Node. Pengujian ini akan menghitung kecepatan transfer data dari HX711 ke Sink Node dan kecepatan sensor HX711 untuk mengambil data mentah dari berat truk.

Pada bagian ini Sensor HX711 akan mengambil data dalam hitungan millisecond yang hasilnya di dapatkan dengan rata-rata hasil dari 700 millisecond sampai 1000 millisecond.

Gambar 2 Hasil data waktu dari sensor HX711

```
A: 0 Gram Time: 43:35:198733
A: 0 Gram Time: 43:36:017443
A: 0 Gram Time: 43:36:836224
```

Pada bagian ini Sensor Hx711 akan di uji keakuratan dari data yang telah di ambil. Berikut adalah gambar hasil data yang di dapat dengan berat benda bernilai 150 gram:

```
A: 159 Gram Time: 36:02:803777
Waktu : 0.33
Kecepatan : 15.1515151515
Jenis : Truck
Sensor 1 = 159 Sensor 2 = 1 Kecepatan = 15.1515151515 Jenis Kendaraan : Truck
(1, 'Data Send to database')
```

Gambar 3 Hasil data pertama dari sensor HX711

```
A: 152 Gram Time: 54:24:420842
Waktu : 0.32
Kecepatan : 15.625
Jenis : Truck
Sensor 1 = 152 Sensor 2 = -1 Kecepatan = 15.625 Jenis Kendaraan : Truck
(1, 'Data Send to database')
```

Gambar 4 Hasil data kedua dari sensor HX711

```
A: 163 Gram Time: 00:57:404828
Waktu : 0.49
Kecepatan : 10.2040816327
Jenis : Truck
Sensor 1 = 163 Sensor 2 = 161 Kecepatan = 10.2040816327 Jenis Kendaraan : Truck
(1, 'Data Send to database')
```

Gambar 5 Hasil data ketiga dari sensor HX711

Tabel 2 Pengujian fungsional Sensor

Sampel	Berat yang diketahui(Standar)	Hasil dari sensor HX711 (Uji)
1	150	159
2	150	152
3	150	163

Dari Tabel V.2 kita dapat menghitung persentase kesalahan pada alat tersebut dengan rumus:

$$\% \text{ Kesalahan alat} = \left(\frac{\text{Nilai Standar} - \text{Nilai Uji}}{\text{Nilai Standar}} \right) \times 100$$

$$\text{Pengukuran pertama} = \left(\frac{150 - 159}{150} \right) \times 100\% = 0.06\%$$

$$\text{Pengukuran kedua} = \left(\frac{150 - 152}{150} \right) \times 100\% = 0.02\%$$

$$\text{Pengukuran ketiga} = \left(\frac{150 - 163}{150} \right) \times 100\% = 0.09\%$$

Pada pengujian tersebut dapat terlihat hasil dari perhitungan tersebut pada alat yang telah dirancang sudah mendekati alat standar dengan rata-rata persentase eror sebesar 0.06%. hal ini menunjukkan bahwa kalibrasi dapat di gunakan.

Pengujian pada test bed jembatan

Pengujian ini dilakukan pada miniature jembatan yang telah di pasang 2 loadcell. Di dapat data ketika berat melewati sensor 1 dan sensor 2 ketika beban melebihi batas yang di tentukan.

```

A: 2491 Gram Time: 42:53:152042
Waktu : 0.87
Jarak: 0.5
Kecepatan : 0.575
Jenis : Truck
Sensor 1 = 2491 Sensor 2 = 1128 Kecepatan = 0.575 Jenis Kendaraan : Truck
(1, 'Data Send to database')

```

Gambar 6 Hasil pengujian pertama pada tes bed jembatan

```

A: 1369 Gram Time: 02:51:861856
Waktu : 0.829
jarak: 0.5
Kecepatan : 0.603
Jenis : Truck
Sensor 1 = 1369 Sensor 2 = 1128 Kecepatan = 0.603 Jenis Kendaraan : Truck
(1, 'Data Send to database')

```

Gambar 6 Hasil pengujian kedua pada tes bed jembatan

Dapat dilihat pada Gambar V.5 bahwa sensor dapat menghasilkan data berat dan kecepatan kendaraan. Dan juga dapat dilihat pada Gambar V.5 perbedaan data pada sensor 1 dan sensor 2. Hal ini dikarenakan beberapa factor, salah satunya adalah kecepatan kendaraan yang semakin tinggi yang menghasilkan jumlah rentang sampel

4. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil pengujian pada bab V dapat di tarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem pengukuran kapasitas jembatan dapat berjalan dengan rancangan yang telah dibuat.
2. Sistem pengukuran kapasitas jembatan mampu mendapatkan data berat dari truk yang melewati sensor.
3. Sistem pengukuran kapasitas jembatan mampu mengirimkan data yang di dapat menuju database.

Daftar Pustaka:

- [1] J. D. A. N. Jembatan, "Jalan dan jembatan 2016," 2016.
- [2] M. J. Chae, H. S. Yoo, J. Y. Kim, and M. Y. Cho, "Development of a wireless sensor network system for suspension bridge health monitoring," *Automation in Construction*, vol. 21, no. 1, pp. 237–252, 2012, doi: 10.1016/j.autcon.2011.06.008.
- [3] C. A. Tokognon, B. Gao, G. Y. Tian, and Y. Yan, "Structural Health Monitoring Framework Based on Internet of Things: A Survey," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, no. 3, pp. 619–635, 2017, doi: 10.1109/JIOT.2017.2664072.
- [4] A. B. Noel *et al.*, "Networks: A Comprehensive Survey," *IEEE Communications surveys y Tutorials*, vol. 19, no. 3, pp. 1403–1423, 2017.
- [5] L. da Xu, W. He, and S. Li, "Internet of things in industries: A survey," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 10, no. 4, pp. 2233–2243, 2014, doi: 10.1109/TII.2014.2300753.
- [6] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The Internet of Things: A survey," *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, 2010, doi: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.
- [7] B. Ma and X. Zou, "Study of vehicle weight-in-motion system based on fiber-optic microbend sensor," *2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, ICICTA 2010*, vol. 3, no. 1, pp. 458–461, 2010, doi: 10.1109/ICICTA.2010.631.
- [8] L. Zhang, C. Haas, and S. L. Tighe, "Evaluating weigh-in-motion sensing technology for traffic data collection," *TAC/ATC 2007 - 2007 Annual Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada: Transportation - An Economic Enabler*, 2007.