Structural Health Monitoring System (SHMS) pada Jembatan Fisabilillah Batam

Moch. Hafizh Alfianza Zahdian¹, Bernardinus Herbudiman², Panji Krisna Wardana³

- 1. Moch. Hafizh Alfianza Zahdian (ITENAS, Bandung)
 - 2. Bernardinus Herbudiman (ITENAS, Bandung)
- 3. Panji Krisna Wardana (Direktorat Jendral Bina Marga Kementerian PUPR Balai Jembatan, Bandung)

Email: hafizhalfianza0109@gmail.com

ABSTRAK

Jembatan merupakan salah satu infrastruktur untuk konektivitas darat, yaitu jalan yang terletak di atas permukaan air dan atau di atas permukaan tanah. Jembatan terbagi menjadi jembatan standar dan non standar/jembatan khusus. Disebut, jembatan khusus karena membutuhkan penanganan khusus dalam desain maupun pelaksanaan konstruksinya (Kemen PUPR, 2015)

Jembatan Fisabilillah merupakan salah satu jembatan yang menjadi simbol kota Batam dan menjadi daya tarik wisata. Jembatan ini memiliki panjang sekitar 641,8 meter dan lebar sekitar 21,5 meter.

Jembatan ini juga merupakan salah satu jalan yang sangat penting bagi masyarakat dalam beraktivitas sehari-hari. Pemantauan dilakukan dengan menggunakan teknologi Structural Health Monitoring System (SHMS), terutama untuk jembatan yang membutuhkan waktu lama untuk tiba di lokasi. Sensor yang telah terpasang pada Jembatan Fisabilillah sebanyak 73 sensor yang terdiri dari, 2 *Joint Meter*, 4 GNSS (GPS), 24 *Cable Tensionmeter*, 10 *Strain Meter*, 2 *Anemometer*, 18 1,2,3Axis Accelerometer, 8 *Thermometer*, 4 CCTV, 1 *hygrometer*. Dengan SHMS, responden pertama dapat mengetahui kondisi struktur jembatan yang sebenarnya hanya dalam beberapa menit, sebelum melakukan pemeriksaan langsung pada setiap jembatan.

Kata Kunci : Jembatan Khusus, Monitoring Kesehatan Jembatan, *Structural Health Monitoring System* (SHMS).

ABSTRACT

The bridge is one of the infrastructures for land connectivity, namely roads located above the water surface and / or above the ground. Bridges are divided into standard and non-standard bridges/special bridges. It is called a special bridge because it requires special handling in the design and implementation of its construction (Kemen PUPR, 2015).

Fisabilillah Bridge is one of the bridges that symbolizes the city of Batam and becomes a tourist attraction. This bridge has a length of about 641.8 meters and a width of about 21.5 meters.

This bridge is also one of the most important roads for the community in their daily activities. Monitoring is carried out using Structural Health Monitoring System (SHMS) technology, especially for bridges that take a long time to arrive at the location. The sensors that have been installed on the Fisabilillah Bridge are 73 sensors consisting of, 2 Joint Meters, 4 GNSS (GPS), 24 Cable Tensionmeters, 10 Strain Meters, 2 Anemometers, 18 1,2,3Axis Accelerometers, 8 Thermometers, 4 CCTV, 1 hygrometer. With SHMS, first responders can know the actual condition of the bridge structure in just a few minutes, before conducting a direct inspection on each bridge.

Key words: Special bridges, bridge health monitoring, Structural Health Monitoring System (SHMS).

1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan salah satu infrastruktur untuk konektivitas darat, yaitu jalan yang terletak di atas permukaan air dan atau di atas permukaan tanah. Jembatan terbagi menjadi jembatan standar dan non standar/jembatan khusus. Disebut, jembatan khusus karena membutuhkan penanganan khusus dalam desain maupun pelaksanaan konstruksinya (Kemen PUPR, 2015).

Jembatan Fisabilillah merupakan salah satu jembatan yang menjadi simbol kota Batam dan menjadi daya tarik wisata. Jembatan ini memiliki panjang sekitar 641,8 meter dan lebar sekitar 21,5 meter. Jembatan ini juga merupakan salah satu jalan yang sangat penting bagi masyarakat dalam beraktivitas sehari-hari. Pemantauan dilakukan dengan menggunakan teknologi Structural Health Monitoring System (SHMS), terutama untuk jembatan yang membutuhkan waktu lama untuk tiba di lokasi. Sensor yang telah terpasang pada Jembatan Fisabilillah sebanyak 73 sensor yang terdiri dari, 2 *Joint Meter*, 4 GNSS (GPS), 24 *Cable Tensionmeter*, 10 *Strain Meter*, 2 *Anemometer*, 18 1,2,3Axis Accelerometer, 8 *Thermometer*, 4 CCTV, 1 *hygrometer*. Dengan SHMS, responden pertama dapat mengetahui kondisi struktur jembatan yang sebenarnya hanya dalam beberapa menit, sebelum melakukan pemeriksaan langsung pada setiap jembatan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui Kesehatan Jembatan di Fisabilillah batam.

Pada penelitian ini terdapat beberapa ruang lingkup seperti berikut:

- 1. Pengumpulan data kondisi elemen struktur Jembatan Fisabilillah dan sensor SHMS pada Jembatan Fisabilillah yang terkini.
- 2. Pengumpulan data sistem manajemen SHMS pada Jembatan Fisabilillah sesuai dengan ketentuan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat melalui wawancara berdasarkan kuisoner dengan instansi terkait.
- 3. Evaluasi kondisi Jembatan Fisabilillah pada tahun 2016.
- 4. SHMS pada Jembatan Fisabilillah pada tahun 2022 terpasang sebanyak 73 sensor guna monitoring jembatan secara *real time*.
- 5. Menyusun Standar Operasional Prosedur (SOP) pengelolaan SHMS pada Jembatan Fisabilillah.
- 6. Studi kasus penerapan Standar Operasional Prosedur (SOP) dalam pengelolaan SHMS Pada Jembatan Fisabilillah Batam.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan Khusus di Indonesia

Jembatan merupakan salah satu infrastruktur untuk konektivitas darat, yaitu jalan yang terletak di atas permukaan air dan atau di atas permukaan tanah. Jembatan terbagi menjadi jembatan standar dan non standar/jembatan khusus. Disebut jembatan khusus karena membutuhkan penanganan khusus dalam desain maupun pelaksanaan konstruksinya, antara lain: (KemenPUPR, 2022)

- 1. Jembatan dengan bentang paling sedikit 100 m;
- 2. Jembatan pelengkung dengan bentang paling sedikit 60 m, jembatan gantung dan jembatan beruji kabel;
- 3. Jembatan dengan total Panjang paling sedikit 3000 m;
- 4. Jembatan dengan ketinggian pilar diatas 40 m;
- 5. Jembatan yang memiliki kompleksitas struktur tinggi atau memiliki nilai strategis atau didesain menggunakan teknologi baru.

Jumlah jembatan khusus di Indonesia sebanyak 303 jembatan terdiri dari 35 tahap penyiapan (desain), 58 tahap konstruksi, dan 210 tahap layan (operasional dan pemeliharaan). Jembatan jembatan tersebut termasuk jembatan pada jalan tol, jalan busway, maupun jalan kereta seperti Light Rapid Transit (LRT) dan Kereta Cepat Jakarta Bandung (Balai Jembatan, 2022).

2.2 Structural Health Monitoring System (SHMS)

Structural Health Monitoring System (SHMS) jembatan adalah sistem manajemen yang melibatkan semua pihak yang terkait dalam kegiatan di jembatan, yang dilakukan dengan cara melakukan identifikasi, penilaian, dan pengendalian risiko yang dapat membahayakan kesehatan dan keselamatan pengguna jembatan. Berikut ini diagram alir komponen dalam sistem monitoring kesehatan struktur. (Kemen PUPR, 2015). Tujuan utama Sistem Monitoring Kesehatan Struktur (SMKS) Jembatan antara lain:

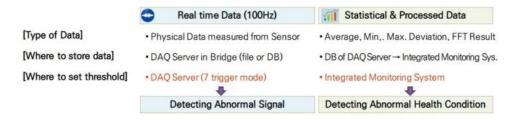
- 1. Memantau kondisi struktur;
- 2. Menilai kinerja struktur;

- 3. Mendeteksi kerusakan atau deteriorasi pada struktur;
- 4. Memverifikasi atau memperbarui kode/aturan/standar yang digunakan dalam tahap perancangan;
- 5. Menyediakan data pendukung untuk pemeriksaan dan preservasi jembatan.

Sistem SMKS Jembatan mencakup integrasi beberapa komponen pendukung seperti Unit Sensor, Unit Akusisi Data, Unit Pengolahan Data, Unit Sistem Integrasi dan Ruang Monitoring.

2.3 Ambang Batas Kesehatan Jembatan

Pemantauan jembatan khusus dengan sistem pemantauan di lokal maupun dipusat (IMKJK) dimulai dengan menetapkan ambang batas data yang akan diukur dan memicu akuisisi data serta menerima alarm ketika ambang batas terlampaui. Oleh karena itu, awal pemantauan dan tugas terpenting dalam pemantauan adalah menentukan ambang batas yang sesuai yang memenuhi tujuan setiap item pemantauan dan memasukkannya ke dalam sistem. Untuk mendeteksi dan segera menanggapi sinyal abnormal yang terjadi di jembatan khusus, tidak boleh ada jarak waktu yang signifikan antara waktu penerimaan sinyal abnormal dan waktu deteksi melalui pesan teks peringatan. Alarm seperti pesan teks peringatan harus dikirim oleh sistem pemantauan terintegrasi. Kesalahan, Malfungsi, dan keusangan SHMS juga dapat menyebabkan kegagalan system. Sinyal abnormal yang dihasilkan dari kegagalan system juga harus dapat dipicu berdasarkan ambang batas, dan melalui proses analisis sinyal abnormal, log harus direkam secara terpisah dari perilaku abnormal jembatan yang sebenarnya.



Gambar 1 Klasifikasi data pemantauan SHMS dan pengaturan ambang batas (Sumber: Kalis, 2023)

2.4 Manajemen Integrasi SHMS

Integrasi Structural Health Monitoring (SHM) dan pemeliharaan berbasis kondisi jembatan (CBM, Condition Based Maintenance) manajemen mengacu pada pemantauan kesehatan struktural dan sistem manajemen pemeliharaan (MMS, Maintenance Management System) jembatan (SHM & MMS) akan diterapkan di jembatan-jembatan di Hongkong, yaitu meningkatkan strategi pemeliharaan jembatan dari pendekatan korektif/pencegahan konvensional ke pendekatan CBM modern sehingga nantinya dapat mengurangi biaya inspeksi dan pemeliharaan (Ni & Wong, 2012).

Dalam Spesifikasi Khusus Interim Nomor Skh-1.7.42 tentang Sistem Monitoring Kesehatan Struktur (SMKS) Jembatan, integrasi sistem bertujuan untuk menggabungkan atau menghubungkan semua sistem yang dibangun secara individual dari setiap jembatan menjadi satu kesatuan sistem yang saling berhubungan atau saling terhubung sesuai dengan kebutuhan pekerjaan SMKS/ SHMS jembatan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan cara observasi langsung di jembatan Fisabilillah untuk mengetahui status kesehatan jembatan melalui SHMS.

4. PEMBAHASAN

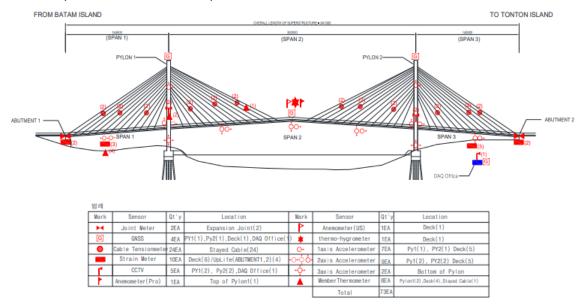
4.1 Sensor SHMS pada Jembatan Fisabilillah

Jembatan Fisabilillah telah terpasang SHMS pada tahun 2022 sebanyak 68 sensor kemudian ditambah menjadi 73 sensor pada tahun 2023. Jenis sensor yang dipasang antara lain:

- 1. Joint Meter,
- 2. GNSS (GPS),
- 3. Cable Tensionmeter,

- 4. Anemometer,
- 5. Accelerometer,
- 6. Thermometer,
- 7. CCTV,
- 8. Hygrometer.

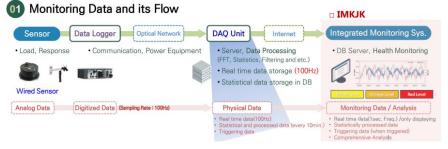
Berikut merupakan titik lokasi sensor pada Jembatan Fisabilillah:



Gambar 2 Letak sensor SHMS pada Jembatan Fisabilillah (Sumber: Kalis, 2023)

4.2 Integrasi Monitoring Kesehatan Jembatan Khusus (IMKJK)

Integrasi Monitoring Kesehatan Jembatan Khusus (IMKJK) dikembangkan pada tahun 2018–2019 oleh Subdit Pemantauan dan Evaluasi, Direktorat Jembatan. IMKJK dapat menampilkan kondisi jembatan secara *real time* dari SHMS lokal manapun yang terdiri dari berbagai sensor dan kemudian menyajikan format untuk pelaporan harian, mingguan dan bulanan. Sebaliknya, ketika terjadi bencana seperti gempa bumi dan kejadian luar biasa lainnya, IMKJK mengevaluasi grafik yang tidak normal berdasarkan nilai ambang batas (threshold) yang telah ditentukan. Berikut merupakan alur IMKJK:



Gambar 3 Alur IMKJK (Sumber: Kalis, 2023)

4.3 Hasil Pengamatan Kesehatan Jembatan Melalui SHMS

Untuk menyatakan kesahatan Jembatan Fisabilillah dengan menggunakan SHMS adalah sebagai berikut:

- 1. Dalam menentukan kesehatan jembatan ditentukan berdasarkan klasifikasi data dan ambang batas.
- 2. Untuk real time data yang merupakan data yang langsung diperoleh dari sensor itu adalah untuk mendeteksi adanya data abnormal dan dilihat langsung di SHMS lokal.
- 3. Untuk mendeteksi kondisi kesehatan jembatan berdasarkan data abnormal maka ditentukan berdasarkan data proses dan statistiknya lalu ditampilkan pada integrasi monitoring system/IMKJK.

- 4. Untuk menyatakan kondisi data normal maka harus dipastikan data tersebut dalam ambang batas yang dapat dilihat pada SHMS lokal.
- 5. Untuk menyatakan kondisi data normal harus di monitor secara langsung dari data *real time*. Berikut merupakan hasil data dari beberapa sensor SHMS pada Jembatan Fisabilillah.



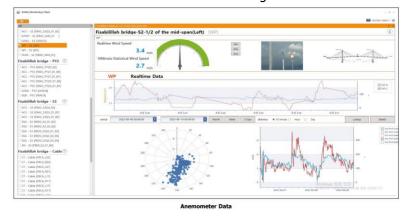
Gambar 4 Hasil data sensor Accelerometer (Sumber: Kalis, 2023)

Berdasarkan **Gambar 4** diperoleh frekuensi alami dari accelerometer sebesar 0.3 Hz, nilai tersebut lebih tinggi dari ambang batas uji beban dinamis yaitu sebesar 0.243 Hz (perbedaan 5.7%) sehingga dapat dinyatakan jembatan dalam kondisi sehat (perbedaanya sebesar $\pm 5\%$).



Gambar 5 Hasil data sensor Strain Gauge (Sumber: Kalis, 2023)

Berdasarkan **Gambar 5** diperoleh frekuensi alami dari strain gauge sebesar 86,5 x 10-6, nilai tersebut lebih rendah dari ambang batas tegangan beton yaitu sebesar 0,0025. Sehingga dapat dinyatakan jembatan dalam kondisi sehat karena masih dibawah ambang batas.



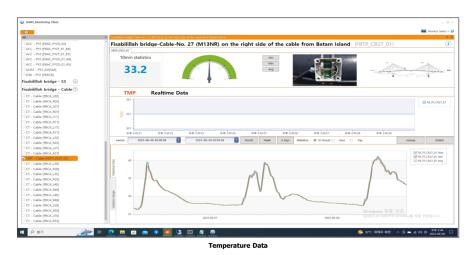
Gambar 6 Hasil data sensor *Anemometer* (Sumber: Kalis, 2023)

Berdasarkan **Gambar 6** diperoleh frekuensi alami dari Anemometer 3,4 m/s kecepatan angin secara real time dan 2,7 m/s kecepatan angin per 10 menit, nilai tersebut lebih rendah dari ambang batas kecepatan angin yaitu sebesar 10 m/s. Sehingga dapat dinyatakan jembatan dalam kondisi sehat karena masih dibawah ambang batas.



Gambar 7 Hasil data sensor Cable Tension (Sumber: Kalis, 2023)

Berdasarkan **Gambar 7** diperoleh frekuensi alami dari Cable Tension Data sebesar 3525 kN, nilai tersebut lebih rendah dari ambang batas dari ambang batas uji beban dinamis yaitu sebesar 10571 kN. Sehingga dapat dinyatakan jembatan dalam kondisi sehat karena masih dibawah ambang batas.



Gambar 8 Hasil data sensor *Thermometer* (Sumber: Kalis, 2023)

Berdasarkan **Gambar 8** diperoleh data dari Thermometer sebesar 33,2°C dinyatakan jembatan dalam kondisi sehat.

4.4 Pembahasan

Berdasarkan hasil observasi langsung pada Jembatan Fisabilillah, kondisi Jembatan Fisabilillah dinyatakan aman/sehat.



Gambar 9 Dashboard IMKJK Jembatan Fisabilillah (Sumber: IMKJK, 2023)

KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melakukan observasi langsung dapat dinyakan bahwa kondisi kesehatan Jembatan Fisabilillah dinyatakan aman/sehat dari beberapa sensor essensial dan hanya membutuhkan pemeliharaan rutin. Pada paper yang berjudul "*Structural Health Monitoring System* pada Jembatan Fisabilillah Batam" saran yang dapat diberikan untuk penelitian ini guna mengembangkan penelitian selanjutnya adalah:

- Penelitian ini dapat difokuskan dalam pengembangan sistem IMKJK pada jembatan khusus lainnya;
- 2. Perencanaan pemasangan *simple* SHMS sehingga yang terpasang hanya yang esensial sesuai kebutuhan masing-masing jembatan;
- 3. Pemasangan SHMS dapat juga dipasang pada jembatan standar (bukan jembatan khusus), jika diperlukan. Namun, sebelumnya perlu dilakukan uji beban struktur untuk mendapatkan nilai ambang batas kondisi jembatan;
- 4. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan referensi terkait pemeliharaan sensor SHMS pada Jembatan Fisabilillah.
- 5. Penyedia jasa SHMS atau BBPJN/BPJN melakukan knowledge sharing dengan mengadakan pelatihan secara berkala paling sedikit 1 (satu) tahun sekali kepada tim di Satker/PPK dan BBPJN/BPJN untuk mengatasi sumber daya manusia apalagi jika terjadi perubahan struktur organisasi sehingga SHMS tetap dapat berfungsi dnegan baik;
- 6. Untuk penyedia jasa IMKJK, harus mengadakan pelatihan secara berkala paling sedikit 1 (satu) tahun sekali kepada tim pengelola IMKJK dan Balai;

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Balai Jembatan. (2021). *Laporan data jembatan khusus di Indonesia.* Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- [2] Deng, Y., & Li, A. (2019). Structural Health Monitoring for Suspension Bridges Interpretation of Field Measurements. Beijing China: Science Press.
- [3] Direktorat Jenderal Bina Marga. (2011). *Pedoman Pemeriksaan Jembatan nomor 005-01/P/BM/2011.* Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum.
- [4] Direktorat Jenderal Bina Marga. (2017). *Spesifikasi Khusus Divisi 10.b: Pemeliharaan Kinerja Jembatan (Skh.2.10.b).* Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum.

- [5] Direktorat Jenderal Bina Marga. (2020). *Spesifikasi Khusus Interim: Sistem Monitoring Kesehatan Struktur (SMKS) Jembatan Skh-1.7.42.* Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum.
- [6] Direktorat Jenderal Bina Marga. (2020). Surat edaran Nomor 16.1/SE/Db/2020 tentang Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2). Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- [7] EJtech. (2020). *Bridge Health Monitoring System (BHMS*). Jakarta: Dipresentasikan pada 1st Workshop Structural Health Monitoring System (SHMS) Hibah Korea.
- [8] EJtech. (2021). *Introduction of inspection and method for Bridge Health Monitoring System (BHMS).* Jakarta: Dipresentasikan pada 3rd Workshop Structural Health Monitoring System (SHMS) Hibah Korea.
- [9] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). *Pedoman Perencanaan Sistem Monitoring Kesehatan Struktur Jembatan.* Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [10] Komisi Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan. (2021). *Pedoman Pembahasan Penyelenggaraan Keamanan Jembatan Khusus.*
- [11] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 41 Tahun 2015 tentang Penyelenggaraan Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [12] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2020). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2020 Tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 16 Tahun 2020 Tentang Organisasi Dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis Di Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat.* Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [13] Siyoto, Dr. Sandu, SKM., M. Kes., & Sodik, M. Ali, MA. (2015). *Dasar Metodologi Penelitian. Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol.6 No.1*: Universitas Sam Ratulangi Fakultas Teknik Jurusan Sipil Manado.
- [14] Suhendro, Bambang. (2020). *Penggunaan Structural Health Monitoring System pada Jembatan-Jembatan Khusus di Indonesia*. Jakarta: Dipresentasikan pada 1st Workshop Structural Health Monitoring System (SHMS) Hibah Korea.