



EVALUASI STRUCTURAL HEALTH MONITORING SYSTEM JEMBATAN KUTAI KARTANEGERA

Oleh

Restu Irawan¹, Tukimun², Hence Michael Wuaten³

^{1,2,3}Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda

Email: [1irawanrestuayya@gmail.com](mailto:irawanrestuayya@gmail.com)

Abstrak

Tahun 2024 terdapat 319 jembatan di seluruh ruas jalan kabupaten, dengan beberapa di antaranya berstatus jembatan khusus. Untuk mencegah kejadian serupa, diperlukan pemeliharaan dan monitoring rutin, agar kualitas dan kesehatan struktur jembatan dapat dinilai secara berkala. Salah satu metode yang efektif untuk mendeteksi kerusakan pada jembatan adalah Structural Health Monitoring System (SHMS), yang menggunakan sensor untuk memantau kinerja dan tingkat layanan struktur jembatan, melalui pengukuran frekuensi, lendutan, dan tekanan beban. Tujuan Penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku struktur Jembatan Kutai Kartanegara secara *real time* berdasarkan hasil evaluasi *Structural Health Monitoring System* dan mengetahui kondisi batas keamanan pada struktur Jembatan Kutai Kartanegara berdasarkan hasil evaluasi *Structural Health Monitoring System*. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah **data primer**, yang diperoleh secara langsung dari lapangan melalui hasil pengukuran *Structural Health Monitoring System* (SHMS) yang telah terpasang pada titik-titik kritis struktur jembatan. Dari hasil analisa dan pembahasan dalam penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa sebagai berikut : Perilaku struktur Jembatan Kutai Kartanegara berdasarkan hasil evaluasi *Structural Health Monitoring System* pada periode Januari hingga April 2024 menunjukkan bahwa regangan yang terjadi berada di angka -27 sampai -45 μ strain, pergerakan bearing sebesar -20 sampai -42 mm dan kecepatan angin sebesar 6,7 – 35 m/s dan. Berdasarkan hasil evaluasi terhadap kondisi batas keamanan pada struktur Jembatan Kutai Kartanegara berdasarkan hasil evaluasi *Structural Health Monitoring System*, maka dapat disimpulkan bahwa nilai deformasi vertikal, pergerakan bearing jembatan dan kecepatan angin yang terjadi pada jembatan masih berada di bawah nilai maksimum yang diijinkan

Kata Kunci: Structural Health, Monitoring System, Jembatan Kutai Kartanegara

PENDAHULUAN

Infrastruktur, seperti jembatan, adalah elemen vital yang mendukung aktivitas sosial dan ekonomi, serta mencerminkan kemajuan suatu peradaban. Investasi dalam infrastruktur, yang meliputi bangunan, jembatan, dan fasilitas transportasi lainnya, berfungsi sebagai indikator perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Namun, kerusakan fisik pada infrastruktur tidak dapat dihindari, baik karena faktor alam (gempa bumi, angin) maupun akibat penuaan, pengoperasian yang tidak memadai, dan pengaruh manusia. Kerusakan

ini dapat memperburuk perekonomian nasional, dengan biaya perbaikan yang besar.

Jembatan, sebagai bagian penting dari infrastruktur transportasi, menghubungkan daerah-daerah yang terpisah oleh topografi atau rintangan alam seperti sungai. Kerusakan pada jembatan berdampak luas terhadap kelancaran transportasi dan sektor ekonomi, sosial, serta pendidikan. Sejarah mencatat keruntuhan Jembatan Kutai Kartanegara pada 26 November 2011 sebagai contoh tragis, di mana keruntuhan disebabkan oleh torsi longitudinal

pada rangka jembatan akibat pengaturan lalu lintas yang tidak seimbang. Keruntuhan ini menyebabkan korban jiwa dan kerugian material yang besar.

Berdasarkan data Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Kutai Kartanegara tahun 2024, terdapat 319 jembatan di seluruh ruas jalan kabupaten, dengan beberapa di antaranya berstatus jembatan khusus. Untuk mencegah kejadian serupa, diperlukan pemeliharaan dan monitoring rutin, agar kualitas dan kesehatan struktur jembatan dapat dinilai secara berkala. Salah satu metode yang efektif untuk mendeteksi kerusakan pada jembatan adalah Structural Health Monitoring System (SHMS), yang menggunakan sensor untuk memantau kinerja dan tingkat layanan struktur jembatan, melalui pengukuran frekuensi, lendutan, dan tekanan beban.

Rumusan Masalah

1. Bagaimana perilaku struktur Jembatan Kutai Kartanegara secara *real time* berdasarkan hasil evaluasi *Structural Health Monitoring System* ?
2. Bagaimana kondisi batas keamanan pada struktur Jembatan Kutai Kartanegara berdasarkan hasil evaluasi *Structural Health Monitoring System* ?

Batasan Penelitian

1. Analisa hasil evaluasi *Structural Health Monitoring System* berdasarkan data hasil pengambilan sampel selama 4 bulan.
2. Structural Health Monitoring System meliputi hasil monitoring terhadap nilai lendutan, kecepatan angin, dan pergerakan bearing secara *real time*.

Tujuan Penelitian

1. Mengetahui perilaku struktur Jembatan Kutai Kartanegara secara *real time* berdasarkan hasil evaluasi *Structural Health Monitoring System*.
2. Mentahui kondisi batas keamanan pada struktur Jembatan Kutai Kartanegara

berdasarkan hasil evaluasi *Structural Health Monitoring System*.

LANDASAN TEORI

Structural Health Monitoring System

Definisi

Structural Health Monitoring System (SHMS) merupakan pendekatan modern dalam pemeliharaan dan evaluasi struktur yang bertujuan untuk memantau kondisi serta mendeteksi kerusakan secara dini pada struktur teknik tanpa merusaknya. Sistem ini mengintegrasikan perangkat keras seperti sensor dan sistem akuisisi data dengan perangkat lunak untuk analisis dan interpretasi data secara *real-time*. SHMS mampu memberikan informasi akurat mengenai performa struktural, baik secara lokal maupun global, sehingga memungkinkan tindakan korektif yang cepat dan tepat sebelum terjadi kerusakan signifikan yang dapat membahayakan fungsi struktur maupun keselamatan publik.

Tujuan

Tujuan utama SHMS adalah untuk memantau kondisi struktur secara kontinyu, menilai performa struktur, mendeteksi kerusakan atau deteriorasi pada tahap awal, serta mendukung proses perencanaan perbaikan atau pemeliharaan. Selain itu, sistem ini juga digunakan untuk memverifikasi asumsi desain terhadap beban gempa, angin, dan beban lalu lintas, memperbarui standar perencanaan, serta menyediakan data valid untuk keperluan audit teknis dan pengambilan keputusan berbasis risiko.

Manfaat

Manfaat utama dari SHMS meliputi peningkatan keselamatan struktur, penghematan biaya melalui pendekatan pemeliharaan prediktif, serta penyediaan basis data yang kuat untuk analisis dan perencanaan jangka panjang. Dengan SHMS, kerusakan struktural dapat dideteksi sebelum mencapai tahap kritis, sehingga memungkinkan tindakan perbaikan yang lebih efisien dan hemat biaya.

Kelas Structural Health Monitoring System

Klasifikasi SHMS didasarkan pada tingkat pentingnya monitoring dan parameter yang diamati. Sistem ini dibagi ke dalam empat kelas:

- Kelas 1: Monitoring dasar yang penting untuk semua jembatan.
- Kelas 2: Monitoring yang diperlukan untuk optimalisasi sistem.
- Kelas 3: Monitoring untuk kebutuhan minimum pemeliharaan.
- Kelas 4: Monitoring tambahan untuk informasi lebih lanjut.

Dari klasifikasi ini dibentuk tiga tingkatan sistem monitoring:

- Basic Level (Kelas 1 + 2)
- Intermediate Level (Kelas 1 + 2 + 3)
- Advance Level (Kelas 1 hingga Kelas 4)

Pemilihan kelas dan tingkat monitoring bergantung pada kompleksitas struktur, risiko kegagalan, dan kebutuhan data yang diinginkan.

Tabel 1 Pemilihan level Structural Health Monitoring System

		Class			
		1	2	3	4
ENVIRONMENTAL EFFECTS*		SL	SL	SL	SL
Air Temperature		L	SL	SL	SL
Air and surface humidity			SL	SL	SL
Precipitation				SL	SL
Pavement water veil				SL	SL
Ice formation				SL	SL
Atmospheric Pressure					SL
Solar Radiation					SL
LOAD EFFECTS*					
Wind	Tower top & girder level	L	L	SL	SL
Traffic	Load and traffic court		SL	SL	SL
Structural temperature	Girder, tower and cables			L	SL
Seismic/ectonic activity	Seismic activity and tsunami			SL	SL
	Correlation at midspan				L
STRUCTURAL RESPONSE					
Corrosion	Concrete reinforcement	Splash zone	SL	SL	SL
Joint relative displacement			SL	SL	SL
Special element response			L	SL	SL
Stress/strain	Fatigue	Orthotropic deck	L	L	SL
Dynamic motion	Global bridge behaviour	Cable anchorage		L	L
Concrete creep	in situ concrete			SL	SL
Stress/strain	Global bridge sectional forces				L
Global structural positioning					
GEOTECHNICAL RESPONSE					
Ground settlement and inclination			SL	SL	SL
Ground pressure			L	L	L
Interstitial pressure				L	L
Special element response				SL	SL

Komponen Sistem Monitoring Kesehatan Struktur

Sistem Sensor

Sensor merupakan elemen kunci dalam SHMS yang berfungsi untuk menangkap parameter fisik dari struktur. Jenis sensor yang digunakan antara lain strain gauge, accelerometer, LVDT, inclinometer, crack meter, temperature sensor,

corrosion sensor, load cell, dan GPS. Pemilihan sensor harus mempertimbangkan kepekaan, akurasi, kestabilan lingkungan, kemudahan pemasangan, dan biaya operasional.

Pengukuran Parameter

Parameter utama yang diukur meliputi regangan, deformasi, beban, percepatan, suhu, tekanan angin, serta citra video. Pengukuran dilakukan pada titik-titik kritis struktur untuk memastikan deteksi perubahan atau anomali secara dini. Data parameter tersebut digunakan untuk menilai performa struktur secara aktual dan untuk memperkirakan kebutuhan pemeliharaan.

Sistem Komunikasi Data

SHMS menggunakan berbagai jaringan komunikasi untuk transmisi data, baik melalui kabel (ethernet, fiber optik) maupun jaringan nirkabel (seluler, radio, satelit). Sistem ini dirancang agar data dari sensor dapat dikirim ke pusat kendali secara akurat dan berkelanjutan, bahkan dalam kondisi geografis yang sulit.

Sistem Pengolahan dan Pengaturan Data

Data mentah dari sensor perlu diproses sebelum dianalisis. Proses ini mencakup pra-pengolahan (seperti noise filtering), pengarsipan data, pengolahan sinyal, hingga interpretasi visualisasi data. Tujuannya adalah untuk mengoptimalkan keakuratan informasi dan efisiensi pemrosesan data berskala besar.

2.3.5 Penyimpanan Data dan Diagnostik

Data hasil monitoring harus disimpan dalam sistem penyimpanan yang andal agar dapat diakses kembali untuk analisis lebih lanjut. Proses diagnostik dilakukan untuk menafsirkan data guna menilai kondisi struktur secara teknis, serta untuk mengidentifikasi gejala kerusakan atau potensi kegagalan melalui pendekatan statistik dan rekonstruksi model.

Level Sistem Monitoring Kesehatan Struktur

SHMS dibagi dalam lima level berdasarkan kompleksitas dan tujuan penggunaannya:

1. Level 1: Pemeriksaan visual rutin (subyektif).

2. Level 2: Penilaian kondisi melalui pengamatan dan data tambahan sederhana.
3. Level 3: Penilaian kinerja menggunakan data dinamis dan indikator teknis.
4. Level 4: Penilaian detail melalui model numerik dan pengujian lanjutan.
5. Level 5: Prediksi masa layan dengan pemantauan jangka panjang dan simulasi beban kompleks.

Identifikasi Struktur

Langkah-langkah Identifikasi Struktur

Identifikasi struktur dimulai dari pengumpulan data teknis, pemodelan awal, evaluasi kondisi aktual, hingga pengujian skala penuh. Langkah ini diakhiri dengan kalibrasi model numerik dan pemanfaatan model tersebut untuk evaluasi kekuatan struktur, penilaian kapasitas beban, serta proyeksi masa layan.

Klasifikasi dan Mekanisme Kerusakan

Kerusakan pada struktur dapat disebabkan oleh tegangan berlebih, deteriorasi mekanik, korosi, atau pengaruh lingkungan seperti suhu ekstrem dan kelembaban tinggi. Pemahaman terhadap jenis dan mekanisme kerusakan sangat penting untuk menentukan strategi monitoring yang efektif dan efisien.

Penentuan Nilai Ambang

Nilai ambang ditentukan untuk mengidentifikasi batas aman struktur dalam tiga aspek utama: stabilitas, daya layan, dan daya pikul beban. Penetapan ini bisa berdasarkan standar desain atau hasil pengujian empiris serta simulasi numerik.

Menentukan Tujuan Monitoring Kesehatan Struktur

Penentuan tujuan SHMS harus mempertimbangkan jenis kerusakan potensial, level sistem monitoring, serta parameter ukur yang relevan untuk menjamin keberlanjutan umur layanan jembatan.

Analisis Numerik

Analisis numerik dilakukan dengan pendekatan elemen hingga untuk memodelkan perilaku struktur. Langkah ini mencakup

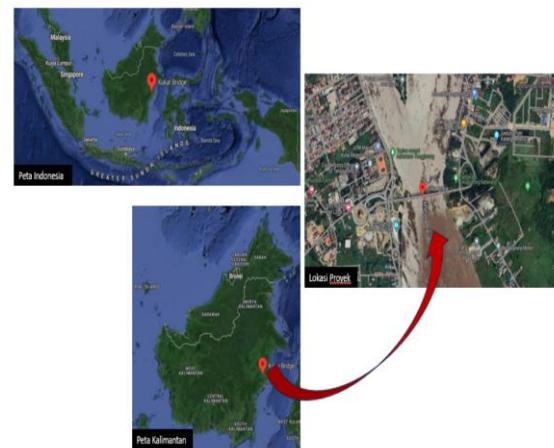
identifikasi parameter modal, simulasi deformasi, serta verifikasi data hasil pengukuran untuk mengevaluasi akurasi dan validitas model.

Desain Komponen MKS

Desain sistem SHMS mencakup pemilihan sensor, sistem akuisisi, sistem komunikasi, serta perangkat lunak pengolah data. Desain harus disesuaikan dengan kebutuhan monitoring statis atau dinamis, kontinu atau periodik, serta mempertimbangkan kemungkinan kerusakan lokal dan pengaruh globalnya

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian



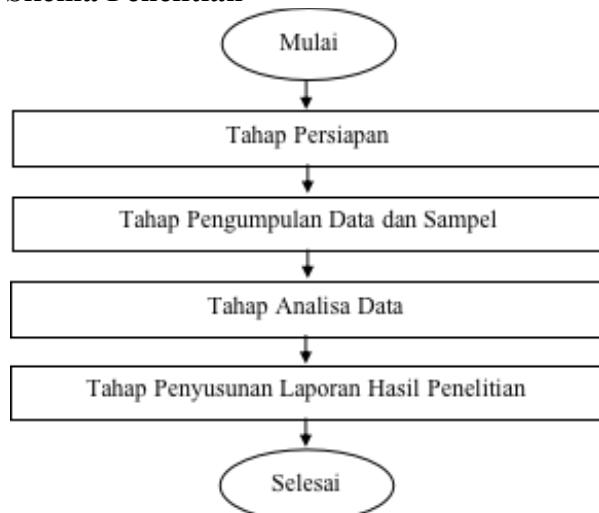
Gambar 1 Lokasi penelitian

Sumber Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah **data primer**, yang diperoleh secara langsung dari lapangan melalui hasil pengukuran *Structural Health Monitoring System* (SHMS) yang telah terpasang pada titik-titik kritis struktur jembatan.

Rencana Penelitian

Skema Penelitian



Gambar 2 Skema Penelitian
Rencana Penelitian

Skema Penelitian

Rangkaian kegiatan penelitian disusun dalam beberapa tahapan, dimulai dari:

- Tahap Persiapan,
- Tahap Pengumpulan Data,
- Tahap Analisa Data, hingga

Penyusunan Laporan Hasil Penelitian. Seluruh tahapan ini dirancang secara sistematis dalam bentuk diagram alir untuk menggambarkan alur kerja penelitian yang terstruktur dan efisien.

Tahapan Penelitian

Proses implementasi SHMS dalam penelitian ini mencakup lima tahapan utama, yaitu:

1. Perencanaan dan desain sistem monitoring,
2. Instalasi sistem dan konfigurasi sensor,
3. Kalibrasi alat serta pengujian awal,
4. Pengumpulan data selama periode monitoring, dan
5. Pengolahan serta analisis data untuk mengevaluasi kondisi struktural. Setiap tahapan dilaksanakan dengan standar teknis dan prosedural yang mengacu pada prinsip SHMS.

Instrumen Peralatan

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini mencakup berbagai sensor dan perangkat pendukung, antara lain:

- Strain gauge vibrating wire,
- Accelerometer 3-axis,
- Deflection multimeter,
- LVDT transducer,
- Thermocouple,
- CCTV,
- Data logger, dan
- Laptop sebagai media perekaman dan pengolahan data.

Jadwal Penelitian

Tabel 2 Jadwal rencana pelaksanaan penelitian

No	Uraian Kegiatan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Proposal		Red				
2	Tahap Persiapan			Green			
3	Tahap Pengumpulan Data	Red	Red	Red	Red		
4	Pengolahan dan Analisa Data		Green	Green	Green	Green	
5	Hasil					Yellow	
6	Publikasi Ilmiah					Blue	
7	Ujian Tesis						Black

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Strain Gauge Vibrating Wire

Sensor SGVW dipasang pada delapan titik strategis di elemen jembatan untuk mendeteksi regangan struktural. Pengambilan data dilakukan setiap bulan dari Januari hingga April 2024.

Tabel 3 Rekapitulasi nilai regangan pada jembatan

Bulan	Regangan Rata-Rata (μ strain)
Januari 2024	-30 sampai dengan -45
Februari 2024	-27 sampai dengan -40
Maret 2024	-30 sampai dengan -45
April 2024	-25 sampai dengan -45

Tabel 4 Rekapitulasi batas deformasi vertikal pada jembatan

Standar	Nilai Deformasi Vertikal Maksimum	Keterangan
AASHTO LRFD SNI 1725:2016 EURO CODE	$L/1000 = 270$	Memenuhi
BRITISH STANDAR 5400	$L/800 = 338$	Memenuhi

Rentang nilai regangan yang terbaca menunjukkan bahwa kondisi elemen struktur masih dalam batas elastis dan tidak menunjukkan gejala kerusakan permanen. Hal ini mengindikasikan bahwa selama masa pemantauan, struktur jembatan tetap berperilaku normal dan stabil terhadap beban yang bekerja.

Hasil Pengujian LVDT Transducer

Empat unit sensor LVDT Transducer digunakan untuk memantau pergerakan longitudinal dan lateral (horizontal) pada bearing jembatan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendeteksi adanya translasi struktur akibat perubahan suhu, beban dinamis, atau faktor lingkungan lainnya.

Tabel 5 Rekapitulasi nilai kecepatan angin pada jembatan

Bulan	Pergerakan Bearing Pada (mm)
Januari 2024	-30 sampai -40
Februari 2024	-33 sampai -42
Maret 2024	-30 sampai -40
April 2024	-20 sampai -37

Tabel 6 Batasan pergerakan bearing pada jembatan

Standar	Nilai Deformasi Vertikal Maksimum	Keterangan
Pot Bearing	Maksimum 250 mm	Memenuhi
Sliding Bearing	Maksimum 400 mm	Memenuhi

Berdasarkan standar teknis, nilai pergerakan maksimum yang diperbolehkan adalah 250 mm untuk pot bearing dan 400 mm untuk sliding bearing. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pergerakan aktual berada jauh di bawah nilai maksimum yang diizinkan, sehingga fungsi bearing masih dalam kondisi aman dan tidak menunjukkan gejala keausan atau kegagalan.

Hasil Pengujian Anemometer

Sensor anemometer dipasang untuk memantau kecepatan angin yang bekerja pada struktur jembatan. Data ini penting untuk mengevaluasi pengaruh beban lingkungan terhadap kestabilan struktur.

Tabel 7 Rekapitulasi nilai kecepatan angin pada jembatan

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)
Januari 2024	35
Februari 2024	9
Maret 2024	6,7
April 2024	6,8

Tabel 8 Batasan kecepatan angin rencana

Standar	Nilai (m/s)	Keterangan
SNI 1727:2019	35 - 45	Memenuhi
AASHTO LFRD	52	Memenuhi

Kecepatan angin rencana menurut standar SNI 1727:2019 berkisar antara 35–45 m/s, sedangkan menurut AASHTO LFRD mencapai hingga 52 m/s. Hasil ini menunjukkan bahwa beban angin aktual masih dalam kisaran aman, dan belum menimbulkan pengaruh signifikan terhadap struktur. Selain itu, standar

memperhitungkan variabel seperti ketinggian jembatan, lokasi geografis, dan frekuensi ulang badai untuk menetapkan batas toleransi beban angin.

Pembahasan

Evaluasi Deformasi Vertikal

Rata-rata nilai regangan selama empat bulan pengamatan berkisar antara **-25 hingga -45 μ strain**, yang secara teknis menunjukkan tidak terjadi deformasi vertikal yang berlebihan. Ketika dibandingkan dengan batas deformasi yang diperbolehkan berdasarkan standar internasional seperti AASHTO LRFD (L/1000) dan BS 5400 (L/800), maka **struktur jembatan masih memenuhi syarat deformasi vertikal maksimum yang diizinkan**. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa struktur tetap memiliki performa yang baik terhadap beban layan yang bekerja.

Evaluasi Pergerakan Bearing Pad

Analisis terhadap pergerakan bearing menunjukkan bahwa nilai yang terukur masih jauh dari nilai batas desain, yang berarti tidak ada indikasi terjadi gangguan terhadap fleksibilitas struktur akibat perubahan suhu atau beban dinamis. Fungsi bearing dalam menyerap gerakan dan ekspansi struktur tetap berjalan dengan baik dan stabil.

Evaluasi Kecepatan Angin

Hasil pemantauan menunjukkan bahwa kecepatan angin maksimum yang terjadi pada bulan Januari merupakan nilai tertinggi (35 m/s), namun tetap berada dalam rentang toleransi menurut peraturan nasional dan internasional. Dalam konteks desain jembatan bentang panjang, kecepatan angin seperti ini belum tergolong ekstrem dan tidak menimbulkan ancaman terhadap stabilitas struktur jembatan.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil analisa dan pembahasan dalam penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa sebagai berikut :

1. Perilaku struktur Jembatan Kutai Kartanegara berdasarkan hasil evaluasi *Structural Health Monitoring System* pada periode Januari hingga April 2024 menunjukkan bahwa regangan yang terjadi berada di angka -27 sampai -45 μ strain, pergerakan bearing sebesar -20 sampai -42 mm dan kecepatan angin sebesar 6,7 – 35 m/s.
2. Berdasarkan hasil evaluasi terhadap kondisi batas keamanan pada struktur Jembatan Kutai Kartanegara berdasarkan hasil evaluasi *Structural Health Monitoring System*, maka dapat disimpulkan bahwa nilai deformasi vertikal, pergerakan bearing jembatan dan kecepatan angin yang terjadi pada jembatan masih berada di bawah nilai maksimum yang diijinkan.

Saran

Adapun beberapa hal yang dapat disarankan atau menjadi peluang penelitian dimasa yang akan datang adalah sebagai berikut:

1. Dalam penerapan SHMS pemilihan sensor secara strategis sangat berpengaruh terhadap data yang dihasilkan, dimana penggunaan sensor yang sesuai dan penempatan titik-titik sensor yang tepat dan akurat akan menghasilkan data yang presisi.
2. Sebaiknya mempertimbangkan faktor sistem akuisisi data, integrasi analitik dan otomatis serta melakukan validasi model secara berkala berdasarkan data yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Farhey D.N, 2005, Bridge Instrumentation and Monitoring for Structural Diagnostic, An International Journal, 4(4), 301 – 308.
- [2] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015, Pedoman Perencanaan Sistem Monitoring Kesehatan Struktur Jembatan, Jakarta.

-
- [3] Nababan, H.A, 2008, Structural Health Monitoring Alat Bantu Mempertahankan Usia Jembatan, Prosiding Seminar Construction and Maintenance of Main Span Suramad Bridge.
 - [4] Mangkoesoebroto, S.P, 2012, Keruntuhan Jembatan Gantung Kartanegara Tragedi dalam Proses Rancang Bangun Infrastruktur, Jurnal Teknik Sipil Volume 19 Nomor 3, Desember.
 - [5] Suhendro, B, 2020, Penggunaan Structural Health Monitoring System pada Jembatan-Jembatan Khusus di Indonesia, Workshop Structural Health Monitoring System (SHMS) Hibah Korea.
 - [6] Sutandi C.A, Pratama B, 2011, Evaluasi Awal Pemasangan Structural Health Monitoring System Pada Jembatan Suramadu, Prosiding Seminar Nasional Transportasi Berkelanjutan, Universitas Udayana Bali.
 - [7] Surat Edaran Menteri PU dan PERA, Nomor 24/SE/M/2015 Tentang Pedoman Perencanaan Sistem Monitoring Kesehatan Struktur Jembatan.
 - [8] Zahdian M.H.A, Herbudiman B, Wardana P.K, 2023, Structural Health Monitoring System Pada Jembatan Fisabillah Batam, Prosiding Seminar FTSP ITENAS, Bandung.