

KAJIAN LITERATUR PEMELIHARAAN JEMBATAN YANG MENGGUNAKAN METODE *STRUCTURAL HEALTHY MONITORING SYSTEM* (SHMS)

Reffanda Kurniawan¹ Betty Susanti¹ Hanafiah¹

¹Mahasiswa Program Studi Ilmu Teknik, Program Doktor, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya,
Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia

^{2,3}Dosen Program Studi Ilmu Teknik, Program Doktor, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya,
Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia

Corresponding author: kurniawanreffanda@gmail.com / 03013622328011@student.unsri.ac.id

ABSTRAK: Pemeliharaan jembatan adalah suatu usaha yang dilakukan untuk memastikan bahwa suatu jembatan dalam kondisi ideal dan layak untuk digunakan. Secara umum jembatan dapat mengalami dua macam kerusakan yang berbeda, yaitu bahan dan elemen. Kerusakan sistem infrastruktur, dalam hal ini jembatan, umumnya tidak dapat dikendalikan walaupun jembatan tersebut didesain agar dapat beroperasi untuk jangka waktu yang lama. Oleh karena itu perlu dilakukan perlindungan untuk mengurangi dampak dari bahaya tersebut. Untuk mendukung hal tersebut maka diperlukan suatu sistem pemantauan (monitoring) secara terus menerus dan berkelanjutan yang didasarkan kondisi aktual struktur serta kondisi lingkungan. Dengan monitoring ini akan didapatkan perilaku struktur sebenarnya sehingga dapat diprediksi kondisi keamanan struktur dan sifatnya secara terus menerus. Sistem monitoring kesehatan struktur jembatan dikenal dengan *Structural Healthy Monitoring System* (SHMS). Penelitian ini menggunakan metode kajian tinjauan literatur. Analisis dilakukan untuk mengetahui tipe jembatan, metode SHMS, dan jenis sensor yang dipasang. Saat ini, Indonesia baru memiliki lima jembatan yang menggunakan SHMS. Diantaranya yaitu; jembatan Suramadu di Pulau Madura, jembatan Merah Putih di Ambon, jembatan Soekarno di Manado, jembatan Pulau Balang di Kalimantan Timur dan jembatan Musi IV di Palembang. Penelitian-penelitian tentang SHMS memperlihatkan bahwa dalam pelaksanaan SHMS perlu memperhatikan beberapa hal, seperti penentuan lokasi pemasangan sensor, penghematan daya, dan sistem penyimpanan dan pengelolaan data *real time*.

Kata Kunci: Pemeliharaan, Jembatan, *Structural Healthy Monitoring System* (SHMS)

ABSTRACT: Bridge maintenance shall be undertaken with a view to ensuring that the bridge is in perfect condition and suitable for use. Two different types of damage, in particular materials and components, can generally occur on bridges. In the case of bridges, however, damage to infrastructure systems is normally not being controlled because bridges are intended to last for a long time. In order to reduce the impact of these risks, it is therefore necessary to provide protection. A long and sustainable monitoring system that will take into account the actual situation of structures and environment needs to be in place for this purpose. This monitoring will allow the safety of the building and its properties to be continuously predicted with a view to gaining an accurate assessment of how it behaves. The bridge structural health monitoring system is known as the *Structural Healthy Monitoring System* (SHMS). A method of conducting a literature review study is used for this research. To determine the types of bridges, SHMS methods and type of sensors installed an analysis was carried out. In Indonesia, the number of SHMS bridges is now limited to five. Among them, there are the Suramadu Bridge in Madura Island, the Red and White Bridge in Ambon, the Soekarno Bridge in Manado, the Balang Island Bridge in East Kalimantan as well as the Musi IV Bridge in Palembang. The research found that several aspects, such as setting up the location of sensor equipment, saving energy and a real time data storage and management system need to be taken into account when implementing SHMS.

Keywords: Maintenance, Bridge, *Structural Healthy Monitoring System* (SHMS)

PENDAHULUAN

Kata pemeliharaan diambil dari Bahasa Yunani yaitu *terein* yang artinya menjaga memelihara, dan merawat. *Maintenance* berasal dari kata “*to maintain*” yang memiliki arti “merawat”, dan memiliki padanan kata “*to repair*” yang berarti memperbaiki. Pemeliharaan atau Perawatan jembatan adalah suatu usaha yang dilakukan untuk memastikan bahwa suatu jembatan dalam kondisi ideal dan layak untuk digunakan. Pemeliharaan jembatan dapat dimulai dari awal setelah jembatan dibangun hingga akhir berkelanjutan. Jenis pemeliharaan dan perawatan jembatan bentang panjang yaitu pemeliharaan rutin dan perbaikan minor, pemeliharaan berkala, *overhaul comprehensive*, peningkatan, perbaikan dan perkuatan darurat.

Pemeliharaan kesehatan jembatan menjadi kunci kelayakan suatu jembatan. Di Indonesia, pembuatan jembatan kebanyakan tidak diiringi dengan pemeliharaan yang bagus, sehingga terjadi penurunan daya layan jembatan. Hal ini berpotensi menyebabkan jembatan runtuh sebelum umur rencana layanan yang telah diperkirakan (Purbasari, 2015). Jembatan merupakan infrastruktur yang paling penting untuk kebutuhan penghubung antar wilayah. Karena itu sudah banyak jembatan-jembatan yang dibangun dari ujung timur hingga ujung barat Indonesia.

Monitoring kondisi jembatan yang berkelanjutan adalah suatu pekerjaan yang harus dilakukan setelah proses pembangunan jembatan. Monitoring ini menjadi sulit apabila harus dilakukan dengan datang langsung ke lokasi. Beberapa jembatan yang dibangun di Indonesia juga sudah menerapkan teknologi canggih seperti negara-negara lain. Oleh karena itu untuk mempermudah monitoring pemantauan jarak jauh, dikembangkan teknologi *Structural Health Monitoring System* (SHMS). SHMS dapat memantau kesehatan struktur dari jarak jauh dengan melihat *display* grafik pada *website* atau menganalisis data yang telah diakuisisi di *database* dalam rentang waktu tertentu (Setiati, dkk., 2022).

Structural Health Monitoring System (SHMS) dapat menjadi metode pilihan yang bisa digunakan untuk melakukan pemeliharaan setiap saat pada struktur jembatan. Agar penerapan metode *Structural Health Monitoring System* berjalan maksimal di perlukan desain rencana yang matang (Billahi, dkk., 2022). Penelitian ini mendesain rencana pemasangan sensor SHMS jembatan rangka baja Sendangmulyo dengan panjang 53 m. Posisi penempatan sensor sebagian besar ada pada bagian dek dan struktur baja utama pada jembatan.

Apriani dan Rahmat (2021) meneliti mengenai *Structural Health Monitoring* (SHM) jembatan pelengkung dengan menggunakan Jaringan Saraf Tiruan

(JST) dengan bantuan program komputer MATLAB untuk prediksi kerusakan model jembatan. JST ini merupakan cabang ilmu kecerdasan buatan yang bekerja berdasarkan sistem kerja otak manusia dan memerlukan *statistic respons* dinamis struktural sebagai indeks kerusakan sehingga dapat memprediksi kondisi kesehatan struktur jembatan secara cepat. Penelitian ini terdiri atas tahap diagnosis, analisis, dan verifikasi.

Penelitian Wibawa, dkk. (2020) menerapkan *Structural Health Monitoring* (SHM) sebagai penerapan deteksi kerusakan jembatan menggunakan *metode vibration-based damage detection*. Pada penelitian ini perancangan sistem penilaian pengawasan kondisi infrastruktur dan kapasitas jembatan berbasis *Wireless Sensor Network* (WSN) menggunakan metode pengembangan perangkat lunak *Extreme Programming* (XP). Selain itu, dilakukan juga 3 pengujian: pengujian *black box*, kinerja, dan sistem GUI di miniatur jembatan.



Jembatan Suramadu
di Pulau Madura



Jembatan Soekarno
di Manado



Jembatan Merah Putih
di Ambon



Jembatan Musi IV
di Palembang



Jembatan Pulau Balang
di Provinsi Kalimantan
Timur



Jembatan Kutai
Kartanegara di Provinsi
Kalimantan Timur

Gambar 1 Jembatan yang menggunakan SHMS
(<https://www.anakteknik.co.id/abdulrahimtanjung/article/s/jembatan-terpanjang-dan-tercanggih-yang-dimiliki-indonesia-apakah-ada-di-provinsi-kamu>, diakses 12/9/2023)

Pemasangan sensor SHMS ini sudah diaplikasikan pada lima jembatan di Indonesia, yaitu (1) Jembatan Suramadu, (2) Jembatan Soekarno di Manado, (3)

Jembatan Merah Putih Ambon, (4) Jembatan Musi IV di Palembang, (5) Jembatan Pulau Balang (Gambar 1). Jembatan Kutai Kartanegara di Provinsi Kalimantan rencananya pada tahun 2023 ini juga akan dipasang sensor SHMS.

Jembatan Suramadu merupakan jembatan *cable-stayed* dengan panjang jembatan 5438 m yang menghubungkan Pulau Jawa dan Pulau Madura. Jembatan ini dibangun pada tahun 2004 dan pemasangan sensor SHMS dilakukan pada tahun 2009 (Sutandi, 2011). Pembangunan Jembatan Suramadu ini menghabiskan dana pembangunan senilai 4,5 Triliun Rupiah.

Pembangunan Jembatan Dr.Ir.Soekarno yang berlokasi di Kota Manado, Sulawesi Utara sudah direncanakan sejak tahun 2003 dan selesai pada pertengahan tahun 2012 dengan biaya Rp. 300 Miliar dari APBN. Panjang jembatan Dr.Ir.Soekarno 1,127 m. (<https://lpse.pu.go.id>, diakses 12/9/2023).

Presiden Joko Widodo (Jokowi) meresmikan jembatan Merah Putih pada 4 April 2016. Jembatan ini dibangun pada 17 Juli 2011 dengan panjang 1.140 m dengan biaya Rp 779,2 miliar. Jembatan ini menjadi jembatan terpanjang di kawasan Indonesia Timur. Jembatan ini menghubungkan sisi utara Kota Ambon, tepatnya Desa Rumah Tiga (Kecamatan Sirimau) dan Desa Hative Kecil (Kecamatan Teluk Ambon) pada sisi selatan (<https://finance.detik.com/infrastruktur/d-3847865/jembatan-terpanjang-di-timur-ri-ini-dilengkapi-sensor-pengaman>, diakses 12/09/2023). Jembatan Musi IV berlokasi di Palembang, Sumatera Selatan, merupakan jembatan tipe *Cable Stay Extradosed* dan *PC U-Girder* dengan panjang 1.130 m. Jembatan ini dibangun dengan biaya sebesar Rp 553 miliar dari tahun 2014-2018. (<https://inventori.co.id/index.php/2018/08/26/menteri-pupr-tinjau-pembangunan-jembatan-musi-iv-dengan-perahu/>, diakses 12/09/2023).

Jembatan Pulau Balang II di Provinsi Kalimantan Timur mempunyai panjang total 804 m dengan tipe *Cable Stayed*. Biaya jembatan Pulau Balang senilai Rp1,3 miliar dari tahun 2015-2021 (Hartono, 2021). Selanjutnya, jembatan pelengkung baja (*steel bowstring tied arch*) yang melintas di atas sungai Mahakam merupakan Jembatan Kutai Kartanegara. Panjang jembatan secara keseluruhan mencapai 710 m. Jembatan ini dibangun semasa Kabupaten Kutai Kartanegara dipimpin oleh Syaukani HR. Warga Tenggarong menyebutnya sebagai mahakarya Syaukani. Pemancangan Jembatan Kutai Kartanegara dilakukan pada 17 Agustus 1995, dan diresmikan pada tahun 2001.

Jembatan Kutai Kartanegara merupakan sarana penghubung antara kota Tenggarong dengan kecamatan Tenggarong Seberang yang menuju ke Kota Samarinda. Sempat ambruk pada 26 November 2011, jembatan ini kemudian dibangun kembali di lokasi yang sama pada tahun 2013 dan resmi dibuka untuk umum pada 8 Desember 2015. (https://id.wikipedia.org/wiki/Jembatan_Kutai_Kartanegara

[ara](#), diakses 14/09/2023). Direncanakan pada tahun 2023 ini, alat *Structural Health Monitoring System* (SHMS) akan dipasang pada Jembatan Kutai Kartanegara dengan biaya Rp 9 miliar.

Berdasarkan uraian diatas, maka yang menjadi tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan kajian dan evaluasi pemeliharaan jembatan yang menggunakan metode *Structural Healthy Monitoring System* (SHMS), khususnya jembatan yang ada di Indonesia.

METODE

Studi ini menggunakan metode tinjauan/kajian literatur. Acuan penelitian ini berdasarkan dari hasil penelitian Pramudya (2022) mengenai tren, biaya, dan tantangan *Structural Health Monitoring* Jembatan. Studi ini menggunakan metode analisis bibliometrik dan tinjauan literatur dengan mengkaji 403 artikel untuk periode 2010-2020. Analisis bibliometrik dilakukan dengan *Publish or Perish* (PoP) dan *Google Scholar* (GS) dari 30 artikel, menggunakan kata kunci: *structure health monitoring system* (SHMS), *bridge*, dan *journal*. Tahap kedua adalah tinjauan literatur menggunakan *Google Scholar* dari 22 artikel menggunakan kata kunci: SHMS, *bridge*, dan *construction management*.

Pada penelitian ini, tinjauan literatur menggunakan *Google Scholar* untuk periode 2020-2023 dengan kata kunci: *Structural Health Monitoring System* (SHMS), *bridge* (jembatan), dan *maintenance* (pemeliharaan). Berdasarkan hasil penelusuran di *Google Scholar*, terdapat 10 artikel nasional dan 8120 artikel internasional dalam durasi publikasi yang ditinjau antara tahun 2020-2023. Penelitian ini hanya mengevaluasi dari hasil publikasi artikel nasional. Setelah dianalisis terdapat 13 artikel nasional (jurnal dan prosiding) yang sesuai dengan kata kunci yang ditetapkan dan dilanjutkan untuk dievaluasi. Pada tahap studi tinjauan literatur dilakukan review terhadap penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dan merangkum fakta serta teori yang dibutuhkan dalam penelitian. Dilakukan dengan membaca jurnal dan artikel yang berkaitan.

Dari hasil yang diperoleh, dilakukan evaluasi dan penyaringan dengan kriteria penelitian terkait SHMS pada jembatan dan dipublikasikan dalam jurnal. Tiga pertanyaan penelitian digunakan untuk kajian pemeliharaan jembatan, yaitu: (1) jenis jembatan; (2) metode dan jenis sensor, dan (3) bagian yang paling banyak dipasang sensor SHMS dan untuk mendeteksi kerusakan apa saja.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Indonesia baru memiliki lima jembatan yang pemeliharaannya dengan metode *Structural Health Monitoring System* (SHMS). Lima jembatan yang dimaksud yaitu; jembatan Suramadu di Pulau Madura, jembatan Merah Putih di Ambon, jembatan Soekarno di Manado, jembatan Pulau Balang di Kalimantan Timur dan jembatan Musi IV di Palembang Sumatera Selatan.

Pemasangan sensor SHMS yang ada di Indonesia dijelaskan pada Tabel 1. Direncanakan pada tahun 2023 ini, alat *Structural Health Monitoring System* (SHMS) juga akan dipasang pada Jembatan Kutai Kartanegara dengan biaya Rp 9 miliar.

Berdasarkan tabel 1, terlihat bahwa Jembatan Suramadu Pulau Madura merupakan jembatan pertama di Indonesia yang dipasangan sensor SHMS. Selain itu juga menjadi jembatan terpanjang (5438 m) di Indonesia yang menghabiskan dana pembangunan senilai 4,5 Triliun Rupiah. Selain itu, diperoleh informasi juga bahwa tipe jembatan yang dapat dipasang sensor SHMS adalah tipe *Cable Stayed*.

Tabel 1. Pemasangan Sensor SHMS di Indonesia

Nama dan Lokasi	Tahun Proyek	Biaya (Rp.)	Tipe dan Panjang Jembatan	Jumlah Sensor Terpasang
Jembatan Suramadu Pulau Madura	2003-2009	4,5 Triliun	<i>Cable Stayed</i> 5438 m	452 (2009) 345 (2010) 514 (2012)
Jembatan Soekarno Manado	2003-2012	300 Miliar	<i>Balance Cantilever (Box Girder)</i> dan <i>Cable Stayed</i> 1127 m	100 (2015)
Jembatan Merah Putih Ambon	2011-2016	779,2 Miliar	<i>Cable Stayed</i> 1140 m	150 (2015)
Jembatan Musi IV Palembang	2014-2018	553 Miliar	<i>Cable Stayed</i> dan <i>Box Girder</i> 1130 m	42 (2017) 22 (2018)
Jembatan Pulau Balang Kalimantan	2015-2021	1,33 Triliun	<i>Cable Stayed</i> 804 m	13 (2019)
Jembatan Kutai Kartanegara	1995-2001 rencana 2023 (SHMS)	300 Miliar, 9 Miliar (SHMS)	Pelengkung Baja (<i>Steel Bowstring Tied Arch</i>) 710 m	- (2023)

Tabel 2 menjelaskan hasil rekapitulasi tinjauan literatur yang telah dilakukan. Hasil evaluasi tinjauan literatur dari 13 publikasi artikel nasional (jurnal dan prosiding) berdasarkan hasil penelusuran di *Google Scholar* yang ditinjau antara tahun 2020-2023 diperoleh informasi bahwa hanya satu artikel jurnal nasional yang melakukan penelitian terkait pemasangan sensor SHMS. Penelitian yang dimaksud dari Hartono dan Khoiroh (2021) tentang evaluasi rencana pemasangan sensor SHMS Jembatan Pulau Balang II. Sedangkan 12 publikasi artikel nasional (jurnal dan prosiding) lainnya memberikan informasi yang bersifat rancang bangun, desain, rencana, dan prediksi terkait dengan pemasangan sensor SHMS di Indonesia.

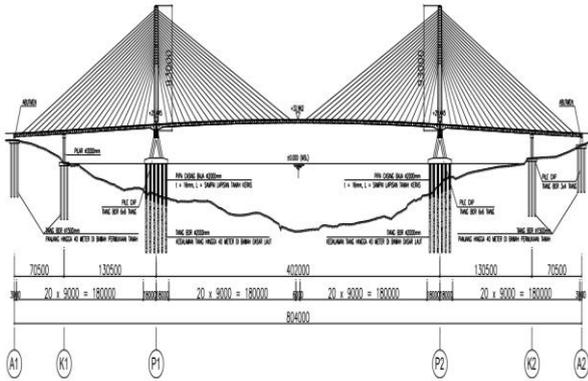
Penelitian Hartono dan Khoiroh tahun 2021 dijelaskan sebagai berikut: Jembatan Pulau Balang II di Provinsi Kalimantan Timur mempunyai panjang

total 804 m, bentang utama 402 m, lebar dek 22,4 m, jumlah lajur 4 x 3,5 m (2 arah) dengan tipe *Cable Stayed*. Tujuan utama riset ini adalah untuk menganalisa tipe sensor, posisi penempatan sensor dan jumlah sensor. Metode tahapan penelitian berupa informasi data jembatan, pengamatan langsung di lapangan, koordinasi dengan stakeholder jembatan, dan penentuan jenis sensor. Dari hasil analisis terdapat 13 jenis sensor yang sebaiknya dipasang pada SHMS Jembatan Pulau Balang II dengan total kebutuhan sensor berjumlah 87 buah. Tampak memanjang Jembatan Pulau Balang II di Provinsi Kalimantan Timur ditunjukkan pada Gambar 2.

Tabel 2 Rekapitulasi Hasil Tinjauan Literatur

No.	Judul	Penulis, Tahun, Penerbit
1	Tren, Biaya, dan Tantangan <i>Structural Health Monitoring</i> Jembatan	Andreas A. Pramudya, Andreas Wibowo, Anton Soekiman, 2022, Jurnal Transportasi
2	Desain Rencana Pemasangan <i>Structural Health Monitoring System</i> Jembatan Rangka Baja (Studi Kasus: Jembatan Sendangmulyo)	Bagus Acung Billahi, Kukuh Wisnuaji Widiatmoko, 2022, Briliant: Jurnal Riset dan Konseptual,
3	Evaluasi Rencana Pemasangan Sensor <i>Structure Health Monitoring System</i> Jembatan Pulau Balang II	Juandra Hartono, Umi Khoiroh, 2021, Teras Jurnal
4	Prediksi Kerusakan Model Jembatan Pelengkung dengan Metode Jaringan Syaraf Tiruan	Widya Apriani, Hendri Rahmat, 2021, Jurnal Teknik
5	Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Pergeseran Bantalan Jembatan Berbasis Resistor Variabel	Kurniawan Findiatmaja, Hartono, Abdullah Nur Aziz, 2021, Jurnal Teras Fisika
6	Perbandingan Analisis Frekuensi Alami Jembatan Gantung dengan Menggunakan Aplikasi <i>Accelerometer Meter</i> dan <i>Software</i> (Studi Kasus Jembatan Gantung Kemiri Buluharjo Karangmojo)	Diah Prawestri, A, Widarto Sutrisno, Agus Priyanto, 2021, Jurnal Renovasi
7	Implementasi <i>Algoritma Fast Fourier Transform</i> pada Monitor Getaran untuk Analisis Kesehatan Jembatan	Ahmad Fatah, Ung Ungkawa, Mira Musrini Barmawi, 2020, Jurnal Infotronik
8	Studi Eksperimen Perilaku Dinamik Jembatan <i>Prestressed Concrete-I Girder</i> dengan menggunakan Akselerometer	Said Jalalul Akbar, Maizuar, M. Fauzan, Burhanuddin, 2020, Teras Jurnal,
9	Integrasi Sistem Pengawasan Kesehatan Jembatan dengan Sistem Pengawasan Lalu Lintas	Muhammad Satria Wibawa, Achmad Irjik Ubay, Seno Adi Putra, Alvi Syahrina, 2020, Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi,
10	SHMS Sebagai Solusi Teknologi Monitoring <i>Online</i> untuk Mengevaluasi Kondisi Jembatan	N. Retno Setiati, Muhammad Savero Ghafruzzambi, 2022: <i>Proceeding KRTJ</i>
11	Pemanfaatan WSN (<i>Wireless Sensor Network</i>) untuk Menganalisis Perilaku Jembatan Menggunakan Metode Arima	Ahmad Syaiful Anam, Setyorini, Seno Adi Putra, 2021, <i>E-Proceeding of Engineering</i>
12	Perancangan <i>Weigh in Motion</i> untuk Sistem Pengukuran Kapasitas Jembatan Berbasis	Achmad Irjik Ubay, Seno Adi Putra, Alvi Syahrina, 2020, <i>E-Proceeding of</i>

	Perubahan Frekuensi Respons Struktur	Engineering
13	Pengembangan Purwarupa Sistem Pengawasan Kondisi Kesehatan Jembatan <i>Single Degree of Freedom</i> Menggunakan Respon Dinamik	Muhammad Satria Wibawa, Seno Adi Putra, Alvi Syahrina., 2020, <i>E-Proceeding of Engineering</i>



Gambar 2 Tampak Memanjang Jembatan Pulau Balang II di Kalimantan Timur (Hartono dan Khoiroh, 2021)

Uraian rincian tipe sensor Jembatan Pulau Balang yaitu: 1 buah Anemometer 2D di Puncak pylon-P1, 1 buah Anemometer 3D di Deck-Mid span, 24 buah Em Sensor di Kabel, 7 buah 2-Axis Accelerometer di Kabel, Deck-Mid Span, Dek Side Span, Dek Side Span, Pylon P1, 6 buah Expansion Joint Meter di Pier, Abutman, Pylon, 20 buah Strain Gauge di Deck-Mid Span, Dek-Side Span, Pylon-P1 dan Pylon P2, 1 buah 1-Axis Tilt Meter di Deck-Mid Span, 4 buah 2-Axis Tilt Meter di Pylon dan Pile Cap, 5 buah Gps Roverdi Pylon, Dek dan 1 buah Gps Reference di Gedung Monitoring, 1 buah Air Temperature di Deck-Mid Span, 1 buah Rain Gauge di Deck-Mid Span, 4 buah CCTV di Pylon-P1 dan Pylon-P2, 2 buah Warning Light di Ujung Jembatan arah pulau balang sisi hilir dan sisi hulu, dan 1 buah seismic Sensor di pylon.

Posisi penempatan sensor sebagian besar ada di pylon, kabel dan dek yang disesuaikan dengan tipe jembatan yaitu *cable stayed*. Untuk sensor gempa disarankan perlu dipasang hal ini dikarenakan wilayah tersebut memiliki seismisitas paling rendah yang didominasi oleh tiga zona sesar utama yaitu sesar mangkalihat, sesar tarakan dan sesar maratus oleh karena itu Kalimantan bukanlah daerah yang bebas gempa bumi.

Jembatan Suramadu adalah jembatan yang menghubungkan Kota Surabaya di Pulau Jawa dan Kabupaten Bangkalan di Pulau Madura. Tipe jembatan adalah *cable-stayed* dengan panjang jembatan 5438 m, lebar 2 x 15 m, *main bridge* 818 m, dan lajur kendaraan 2 x 2 x 3.50 m. Jembatan ini menghubungkan Pulau Jawa dan Pulau Madura. Pemasangan SHM dilakukan pada tahun 2009. Sejumlah 92 sensor dipasang dari 128

jumlah desain. Untuk bekerja secara efektif dan efisien SHMS perlu dilengkapi dengan jenis, jumlah dan penempatan sensor yang benar. Walaupun desain jenis, jumlah, dan penempatan sensor sudah dilakukan, tetapi pada kondisi eksisting terdapat sejumlah sensor yang belum sesuai desain karena keterbatasan dana (Sutandi, 2011). Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sejumlah sensor yang dipasang tidak sesuai dengan jumlah dan penempatan lokasi pada rencana semula sehingga dapat menimbulkan akibat yang merugikan kondisi jembatan.

Pemasangan sensor SHMS pada Jembatan Dr.Ir.Soekarno di Kota Manado, Sulawesi Utara meliputi: *Sensor Strain Gauge*, *Sensor Tiltmeter*, *Sensor Anemoter 2D* dan *3D*. Direncanakan juga akan dipasang *sensor Accelerometer 3-axis* tipe komunikasi *wireless*, *Sensor Air Temperature* tipe komunikasi *wireless*, *Sensor Anemometer bi-axial (2D)* tipe komunikasi *wireless*, *Sensor Anemometer tri-axial (3D)* tipe komunikasi *wireless*, *GPS Rover*, *Sensor Seismometer* tipe komunikasi kabel, *Sensor Strain Gauge Outer* tipe *transducer* komunikasi *wireless*, *Sensor Termometer* tipe komunikasi *wireless*, *Sensor Tiltmeter 2-axis* tipe komunikasi *wireless* (<https://lpse.pu.go.id>, diakses 12/9/2023).

Jembatan Merah Putih Ambon juga telah dipasang sensor SHMS. Sensor yang dipasang yaitu sensor pengukur gaya kabel yaitu sensor *electro magnetik*, sensor pengukur kecepatan dan arah angin, sensor kemiringan *pylon*, sensor pengukur getaran dan frekuensi struktur, sensor pengukur getaran gempa, dan sensor pengukur *ambient* temperatur (<https://finance.detik.com/infrastruktur/d-3847865/jembatan-terpanjang-di-timur-ri-ini-dilengkapi-sensor-pengaman>, diakses 12/09/2023).

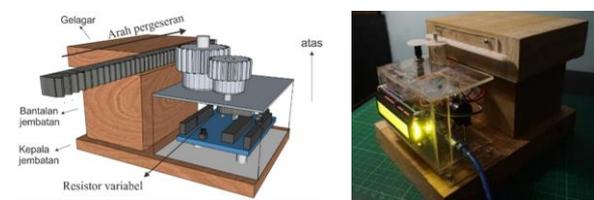
Tipe Jembatan Musi IV di Palembang Provinsi Sumatera Selatan adalah *Cable Stay Extradosed* dan *PC U-Girder*. Memiliki total panjang 1.130 m dengan panjang bentang utama 312,8 m dan dilengkapi dengan jembatan penghubung dan jalan pendekat pada kedua sisi. Lebar jembatan 12 m yang digunakan untuk bahu jalan dan dua lajur kendaraan. Pemasangan sensor SHMS sebanyak 22 titik di setiap sudut Jembatan Musi IV. (<https://www.teraslampung.com/jembatan-musi-iv-akan-dipasangi-22-alat-sensor-keamanan/>, diakses 12/09/2023).

Selanjutnya, jembatan *Cable Stayed* Pulau Balang II, panjang jembatan 804 m, bentang utama 402 m, lebar dek 22,4 m, jumlah lajur 4 x 3,5 m (2 arah). Jembatan Pulau Balang dikerjakan oleh BBPN Kalimantan Timur Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian PUPR dengan anggaran senilai Rp1,3 miliar melalui SBSN tahun anggaran 2015-2021. Hasil evaluasi rencana pemasangan sensor *Structure Health Monitoring System (SHMS)* Jembatan Pulau Balang II yaitu terdapat 13 jenis sensor yang sebaiknya dipasang dengan total kebutuhan sensor berjumlah 87 buah (Hartono, 2021).

Tujuan utama dari penelitian Billahi, dkk., (2022) adalah untuk mengetahui tipe sensor, jumlah sensor dan penempatan sensor pada rencana pemasangan SHMS pada jembatan rangka baja Sendangmulyo. Jembatan ini

mempunyai panjang total 53 m, lebar 9.3 m dan tinggi 5 m. Tebal plat buhul adalah 21 mm dan baut M24. Tipe profil baja bagian atas, samping dan bawah adalah IWF 300.300.10.15, kemudian untuk bagian *bracing* atas menggunakan tipe IWF 200.200.8.12. Hasil analisa menunjukkan 7 jenis sensor yang akan digunakan meliputi: 6 *Accelerometer* di rangka bagian kiri dan kanan dan deck jembatan, 2 *Anemometer* di Rangka bagian kiri dan kanan, 2 *Global Positioning System* (GPS) di deck bawah jembatan, 2 *Weigh in Motion* (WIM) di pintu masuk jembatan, 2 *displacement transducer* di *pylon* bagian utara dan bagian selatan, 2 *Digital video* di rangka bagian kiri dan kanan, dan 2 *Expansion joint* meter di *pier* jembatan arah utara dan arah selatan. Posisi penempatan sensor sebagian besar ada pada bagian dek dan struktur baja utama pada jembatan sesuai prioritas pemasangan sensor untuk tipe jembatan rangka baja.

Findiatmaja, dkk., (2021) membuat rancang bangun sistem pendeteksi pergeseran bantalan jembatan berbasis *resistor variable* (Gambar 3). Penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan. Tahapan awal adalah persiapan alat dan bahan serta perangkaian sistem pendeteksi. Jenis resistor variabel yang digunakan adalah resistor variabel putar atau potensiometer. Selanjutnya, pengujian sensor dilakukan dengan memvariasikan pergeseran dari 0 mm hingga 52 mm dengan interval 1 mm sebanyak lima kali pengulangan. Setelah pengujian sensor, tahap terakhir melakukan perangkaian sistem deteksi. Hasil penelitian yang diperoleh adalah model sistem pendeteksi pergeseran bantalan jembatan menggunakan sensor resistor variabel dengan jangkauan pergeseran dari 0 mm hingga 30 mm. Sensor memiliki sensitivitas sebesar 0,079 V/mm atau perubahan rata-rata setiap 1 mm adalah 0,079. Sistem memiliki karakteristik yang baik dengan akurasi rata-rata sebesar 98,50 %, presisi rata-rata sebesar 99,27 %, error rata-rata sebesar 1,50 % dan waktu respon sebesar 0,14 s. Batas diambil berdasarkan ukuran bantalan jembatan yang sering digunakan 480x380x73 mm dengan batas geser maksimumnya sebesar 24 mm. Berdasarkan Analisa hasil maka resistor variabel dapat digunakan sebagai sensor pada sistem pendeteksi pergeseran bantalan jembatan dengan menambahkan sistem mekanik berupa roda gigi dan rel.

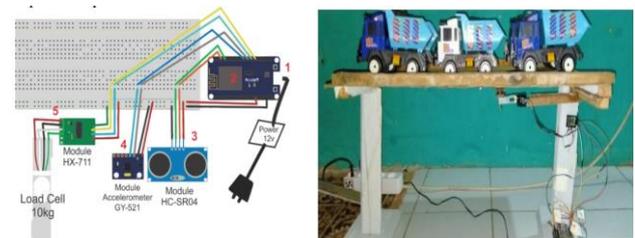


Gambar 3 Rancang Bangun Sistem Deteksi (Findiatmaja, dkk., 2021)

Jembatan gantung baja Kemiri Buluharjo Karangmojo mempunyai panjang 72 m. Prawestri, dkk., (2021) memodelkan jembatan ini secara tiga dimensi dengan menggunakan *software* SAP2000. *Free vibration test* dilakukan untuk membandingkan parameter dinamik

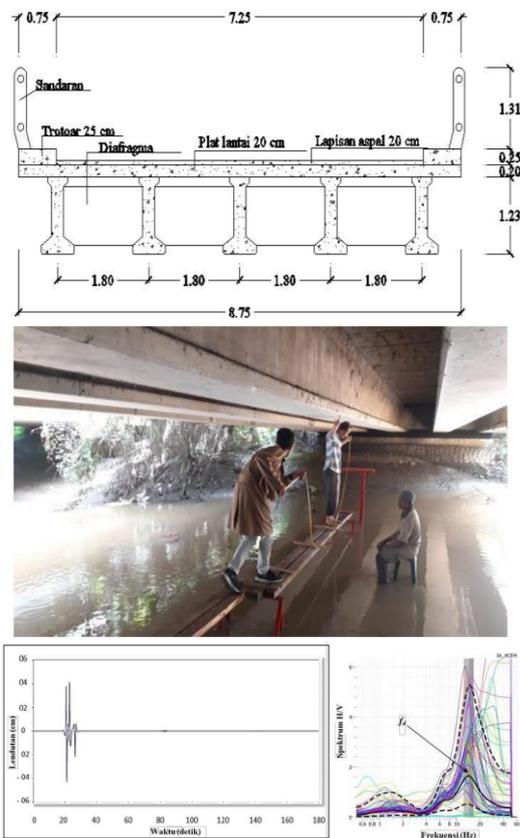
hasil dari modelisasi *software* dengan hasil parameter dinamik menggunakan aplikasi *Accelerometer* untuk mengukur getaran yang sudah di instal pada *smartphone*. Lama waktu pengambilan data eksperimen ini adalah 7 menit. Analisis model secara teoritis dan eksperimen dilakukan pada penelitian ini untuk mendapatkan frekuensi alami. Frekuensi alami pada hasil output SAP 2000 adalah mode 1 dengan dengan periode getar 1,316456 detik dan frekuensi 1,6127 Hz. Hasil dari eksperimen terdapat data frekuensi alami 22,5 Hz untuk channel X, sebesar 3,1 Hz untuk channel Y, dan untuk 12,8 Hz untuk channel Z. Frekuensi dari hasil eksperimen menunjukkan selisih yang lebih besar dengan frekuensi hasil modelisasi. Perbedaan hasil yang terjadi akibat pada pemodelan jembatan gantung dengan *software* SAP 2000, semua sambungan pada jembatan gantung dianggap kaku.

Fatah, dkk., (2020) melakukan implementasi *algoritma fast fourier transform* pada monitor getaran untuk analisis kesehatan jembatan (SHMM) yang dimodelkan pada Gambar 4. Sistem monitor dikembangkan untuk dapat mengetahui kondisi struktur jembatan agar dapat mengantisipasi kegagalan struktur. Dimana dari hasil monitor dalam analisis kesehatan jembatan ini akan dihasilkan data frekuensi alami, tekanan beban dan lendutan. Nilai tersebut ditampilkan dalam sistem *website*. Data akselerasi sumbu x, y, dan z akan diolah dengan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT), kemudian data frekuensi yang telah diolah akan menghasilkan frekuensi alami jembatan. Komponen sensor yang digunakan adalah sensor *accelerometer*, *sensor ultrasonic*, dan *loadcell*. Semua komponen *hardware* dipasang pada bagian bawah konstruksi atas jembatan. Dari hasil penelitian menunjukkan dengan beban 6 kg didapat akselerasi Sumbu x = 1.29, Y = 0.73 dan Z = 13.39, Ferkunesi Dasar X = 1.82, Y = 1.03 dan Z = 18.93. Untuk parameter lendutan dengan akurasi 99.66 %, dengan beban 6 kg didapat rata-rata error sebesar 11 mm (millimeter) dengan rata-rata persentase error sebesar 0.0396 %. Untuk parameter tekanan berat dengan akurasi 99,534 %, dengan beban 6 kg didapat rata-rata persentasi error sebesar 0.1821 kg dengan persentase error tertinggi sebesar 0.4566 %.



Gambar 4 Sistem Model Purwarupa Jembatan (Fatah, dkk., 2020)

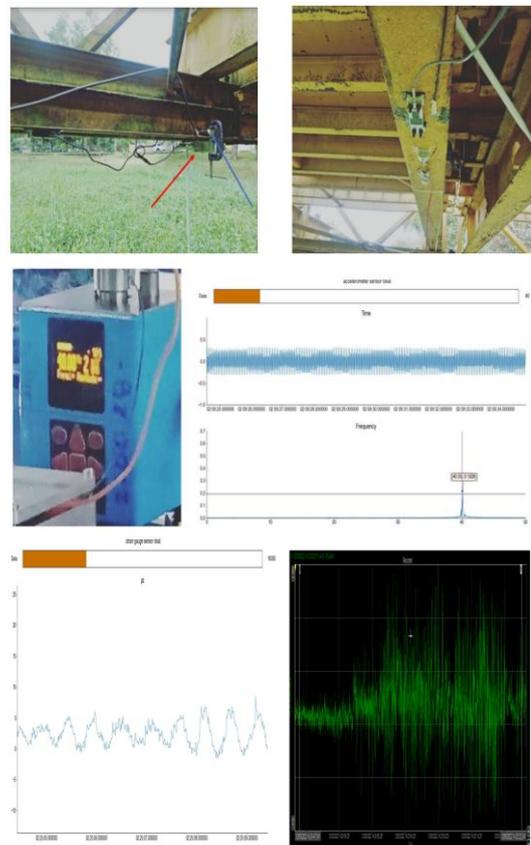
Objek penelitian Akbar, dkk., (2020) adalah Jembatan Alue Raya, Kecamatan Blang Mangat, Kota Lhokseumawe, Provinsi Aceh. Data struktur jembatan adalah jenis konstruksi: komposit, tipe jembatan: kelas 1, panjang jembatan: 25,5 m, lebar jembatan : 8,75 m, jarak antar girder :1,8 m, lebar jalur lalu lintas : 7,25 m, dan lebar trotoar : 0,75 m. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku dinamik jembatan melalui pengukuran respon dinamik struktur berupa frekuensi alami dan lendutan ketika dilalui beban lalu lintas dengan menggunakan sensor akselerometer yang dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil penelitian dari respon dinamik struktur diperoleh frekuensi alami dengan menggunakan *software* Geopsy sebesar 4,3256 Hz. Sedangkan lendutan diperoleh dengan menggunakan *software* DADiSP sebesar 0,43 cm pada pembebanan truk 28 ton dan lendutan sebesar 0,5 cm pada beban lalu lintas normal.



Gambar 5 Potongan Jembatan, Pemasangan Sensor Akselerometer, dan Grafik Hasil Pengujian (Akbar, dkk., 2020)

Penelitian Setiati, dkk., (2022) membandingkan tingkat validitas sensor SHMS yang dibuat secara lokal (dalam negeri) dengan suatu alat *transduser* berupa *dewetron* dan *bean devices* (produk luar negeri). Pengujian dilakukan dalam skala laboratorium dan lapangan. Gambar 6 memperlihatkan alat sensor yang

dipasang. Hasilnya, nilai frekuensi dan amplitudo dari *vibration calibrator (shaker)* adalah 15.92 Hz dan 40 Hz dengan amplitudo 2 m/s ($\pm 0,2 G$). Sedangkan *accelerometer sensor* lokal memberikan nilai 15,94 Hz. Dan 40,05 Hz. Akibat beban kendaraan bermotor yang bekerja pada jembatan, *accelerometer sensor* lokal memberikan nilai frekuensi 2,34 Hz, sedangkan nilai frekuensi pada *dewetron* dan *bean devices* masing-masing 2,344 Hz dan 2,322 Hz. Selisih pengukuran antara (0,1-0,7) %. Nilai regangan yang diukur dengan *strain gauge* lokal sebesar 27,1 $\mu\epsilon$ sedangkan nilai regangan pada *dewetron* sebesar 27 $\mu\epsilon$ sehingga selisih pengukuran sebesar 0,3 %. Dalam pengujian *strain gauge sensor* lokal lain diperoleh nilai regangan sebesar 5,179 $\mu\epsilon$ sedangkan *bean devices* menghasilkan regangan 5,091 $\mu\epsilon$ sehingga diperoleh selisih pengukuran sebesar 1,6 %.

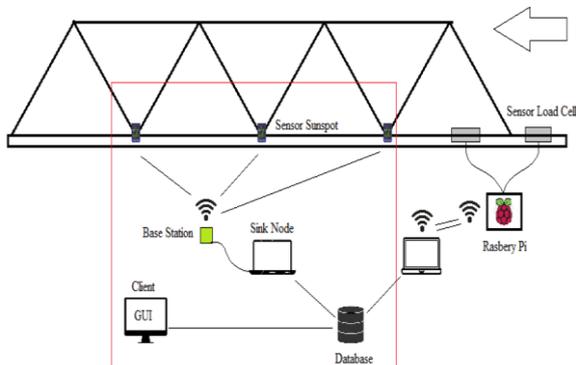


Gambar 6 Hasil Pembacaan Sensor yang Dipasang (Setiati, dkk., 2022)

Syaiful, dkk., (2021) melakukan studi pada algoritma berdasarkan deret waktu untuk mendeteksi kesehatan pada struktur jembatan berbasis sinyal getaran *Accelerometer* serta mendeteksi kerusakan pada struktur jembatan menggunakan jarak antara model *Auto-Regressive Moving Average (ARIMA)*. Dalam penelitian ini, jarak antara model ARIMA disebut sebagai indikator kerusakan, yang mempresentasikan tingkat kerusakan dan lokasi kerusakan. Dalam kasus penelitian ini, 512

kumpulan data diasumsikan dan masing masing terdiri dari 10 kali percobaan dari setiap skenario dan kondisi yang berbeda, (pada periode pengambilan sample 0.01 milidetik sehingga totalnya selama 5.12 detik dari setiap percobaan). Hasil perhitungan nilai rata-rata dari keempat sensor yang mengalami kerusakan pada pegas 1 didapatkan bahwa penurunan kerusakan dari skenario jembatan rusak beban kosong sebesar 62 % dan kerusakan skenario jembatan rusak beban penuh sebesar 60 %, kemudian hasil perhitungan nilai rata-rata dari semua sensor untuk skenario jembatan rusak beban kosong sebesar 12 % dan skenario jembatan rusak beban penuh sebesar 13 %.

Pada penelitian Ubay, dkk., (2020) membuat sistem informasi pemantauan kondisi jembatan dengan menggunakan WSN yang terintegrasi dengan SHMS. Metode penelitian meliputi: tahap identifikasi, tahap pengembangan sistem (*testing, coding, managing, design, planning*), dan evaluasi. Pengujian dilakukan melalui dengan pengujian *black-box* yang merupakan pengujian yang berfokus pada pengujian fungsional sistem. Pengujian kinerja juga di lakukan untuk mengetes kinerja dari sistem Sensor HX711 dan *Sink Node*. Berdasarkan dari hasil pengujian diperoleh 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, dan (3) Sistem pengukuran kapasitas jembatan mampu mengirimkan data yang di dapat menuju *database*.



Gambar 7 Purwarupa SHMS Single Degree of Freedom (Wibawa, dkk., 2020)

Wibawa, dkk., (2020) merancang sistem penilaian pengawasan kondisi infrastruktur dan kapasitas jembatan

berbasis *Wireless Sensor Network* (WSN) menggunakan metode pengembangan perangkat lunak *Extreme Programming* (XP) terlihat pada Gambar 7. Dalam pengujian ini dilakukan 3 pengujian yaitu: *Black box*, Kinerja, dan Sistem GUI. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu menampilkan data frekuensi beserta, kapasitas, dan empat *mode shape* jembatan.

Penelitian yang berkaitan dengan topik SHMS di Indonesia masih belum banyak. Hasil tinjauan literatur menggunakan *Google Scholar* (2020-2023) dengan kata kunci: *Structural Health Monitoring System* (SHMS), *bridge* (jembatan), dan *maintenance* (pemeliharaan). terdapat 13 artikel nasional (jurnal dan prosiding) yang sesuai dengan kata kunci yang ditetapkan dan dilanjutkan untuk dievaluasi. Hal ini menunjukkan bahwa keterlibatan akademisi teknik sipil, khususnya bidang manajemen infrastruktur, dalam melakukan penelitian mengenai SHMS perlu ditingkatkan.

Structural Health Monitoring System (SHMS) merupakan suatu bidang baru dan masih berkembang, serta memiliki kemampuan untuk melakukan deteksi dini terhadap kerusakan sistem struktur jembatan. Metode ini dapat memperpanjang umur layan struktur jembatan. Hal ini dikarenakan apabila kerusakan dapat diketahui lebih awal sebelum terjadi kerusakan yang lebih berat maka biaya perawatan/pemeliharaan jembatan menjadi tidak terlalu besar. Ke depan diharapkan metode SHMS dapat menjadi pertimbangan dan acuan dalam pemeliharaan jembatan di masa mendatang terutama jembatan bentang panjang di Indonesia.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Kesimpulan

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode kajian literatur dengan tujuan untuk mengevaluasi pemeliharaan jembatan yang menggunakan metode *Structural Healthy Monitoring System* (SHMS), khususnya jembatan yang ada di Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ssat ini Indonesia memiliki lima jembatan yang menggunakan *Structural Health Monitoring System* (SHMS), yaitu jembatan Suramadu di Pulau Madura, jembatan Merah Putih di Ambon, jembatan Soekarno di Manado, jembatan Pulau Balang di Kalimantan Timur dan jembatan Musi IV di Palembang. Tahun 2023 ini, rencananya Jembatan Kutai Kartanegara di Provinsi Kalimantan akan dipasang alat SHMS.

Hasil evaluasi tinjauan literatur menggunakan *Google Scholar* dalam rentang tahun 2020-2023 dengan kata kunci: *Structural Health Monitoring System* (SHMS), *bridge* (jembatan), dan *maintenance* (pemeliharaan) di Indonesia diperoleh 13 artikel. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian dengan topik ini masih belum banyak. Ada satu artikel jurnal nasional yang

melakukan penelitian terkait pemasangan sensor SHMS (Hartono dan Khoiroh, 2021) tentang rencana pemasangan sensor SHMS Jembatan Pulau Balang II. Sedangkan 12 publikasi artikel nasional (jurnal dan prosiding) lainnya melakukan penelitian yang bersifat desain, rancang bangun, rencana, dan prediksi terkait dengan pemasangan alat sensor SHMS di Indonesia.

Dalam penerapan SHMS, khususnya pada struktur jembatan bentang panjang adalah bagaimana hasil SHMS tersebut dapat efektif. Struktur jembatan bentang panjang memiliki variabel dimensi dan sistem struktural yang kompleks. Sehingga harus memperhatikan seluruh kerusakan struktural jembatan dan pemasangan sensor SHMS. Hasil dari penelitian sebelumnya memperlihatkan bahwa metode pemrosesan data lebih dapat meningkatkan kualitas hasil keluaran SHMS dari sekedar menambah jumlah pemasangan sensor SHMS.

Rekomendasi

Pemerintah, akademisi, dan praktisi sebaiknya melakukan kerja sama dalam sosialisasi penerapan pemeliharaan jembatan yang menggunakan metode *Structural Health Monitoring System* (SHMS) di Indonesia. Apabila hasil dari penelitian-penelitian tentang SHMS semakin banyak, maka diharapkan SHMS dapat digunakan di banyak jembatan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Pramudya, A.A., Wibowo, A., Soekiman, A. (2022). Tren, Biaya, dan Tantangan *Structural Health Monitoring* Jembatan. *Jurnal Transportasi* Vol. 22 No. 2 Agustus 2022: 117–130.
- Billahi, B.A., dan Widiatmoko, K.W. (2022). Desain Rencana Pemasangan *Structural Health Monitoring System* Jembatan Rangka Baja (Studi Kasus: Jembatan Sendangmulyo). *Briliant: Jurnal Riset dan Konseptual*, Volume 7 Nomor 2, Mei 2022.
- Setiati, N., S., dan Ghafiruzzambi, M.S. (2022). SHMS Sebagai Solusi Teknologi Monitoring *Online* untuk Mengevaluasi Kondisi Jembatan. *Prosiding. Konferensi Regional Teknik Jalan (KRTJ)*. ISSN 2963-1912 (media online).
- Anam, A., S., Setyorini, Putra, S.A. (2021). Pemanfaatan WSN (*Wireless Sensor Network*) untuk Menganalisis Perilaku Jembatan Menggunakan Metode ARIMA. *E-Proceeding of Engineering*: Vol.8, No.2 April 2021 | Page 3314, ISSN: 2355-9365.
- Prawestri, D., Sutrisno, A., W., Priyanto, A. (2021). Perbandingan Analisis Frekuensi Alami Jembatan Gantung dengan Menggunakan Aplikasi *Accelerometer Meter* dan *Software* (Studi Kasus Jembatan Gantung Kemiri Buluharjo Karangmojo. *Jurnal Renovasi: Rekayasa dan Inovasi Teknik Sipil*, 6(1), 54–64.
- Hartono, J., dan Khoiroh, U. (2021). Evaluasi Rencana Pemasangan Sensor *Structure Health Monitoring System* Jembatan Pulau Balang II. *Teras Jurnal*, Vol 11, No 2, September 2021 P-ISSN 2088-0561 E-ISSN 2502-1680.
- Findiatmaja, K., Hartono, Aziz, A., N. (2021). Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Pergeseran Bantalan Jembatan Berbasis Resistor Variabel. *Jurnal Teras Fisika* Volume 4, Nomor 1 Maret 2021.
- Apriani, A., dan Rahmat, H. (2021). Prediksi Kerusakan Model Jembatan Pelengkung dengan Metode Jaringan Syaraf Tiruan. *Jurnal Teknik*, Volume 15, Nomor 1 April 2021, Pp 49-53.
- Fatah, A., Ungkawa, U., Barmawi, M., M. (2020). Implementasi *Algoritma Fast Fourier Transform* pada Monitor Getaran untuk Analisis Kesehatan Jembatan. *Jurnal Infotronik* Volume 5 No. 2, Desember 2020 P-ISSN: 2548-1932 E-ISSN: 2549-7758.
- Ubay, A., I., Putra, S., A., Syahrina, A. (2020). Perancangan *Weigh in Motion* untuk Sistem Pengukuran Kapasitas Jembatan Berbasis Perubahan Frekuensi Respons Struktur. *e-Proceeding of Engineering* Vol.7, No.1 April 2020. Page 2188 ISSN: 2355-9365.
- Wibawa, M., S., Ubay, A., I., Putra, S., A., Syahrina, A. (2020). Integrasi Sistem Pengawasan Kesehatan Jembatan dengan Sistem Pengawasan Lalu Lintas. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, Vol. 9, No. 2, Mei 2020.
- Wibawa, M., A., Putra, S., A., Syahrina, A. (2020). Pengembangan Purwarupa Sistem Pengawasan Kondisi Kesehatan Jembatan *Single Degree of Freedom* Menggunakan Respon Dinamik. *Proceeding of Engineering*: Vol.7, No.1 April 2020. Page 2155, ISSN: 2355-9365.
- Akbar, S., J., Maizuar, Burhanuddin, M., F. (2020). Studi Eksperimen Perilaku Dinamik Jembatan *Prestressed Concrete-I Girder* dengan Menggunakan Akselerometer. *Teras Jurnal*, Vol 10, No 2, September 2020 P-ISSN 2088-0561, E-ISSN 2502-1680.
- Sutandi, Caroline, A., Pratama, Bram. (2011). Evaluasi Awal Pemasangan *Structural Health Monitoring System* pada Jembatan Suramadu. *FSTPT. Seminar Nasional Transportasi yang Berkelanjutan*, Universitas Udayana, Denpasar, Bali, 6 Mei 2011. <https://inventori.co.id/index.php/2018/08/26/menteri-pupr-tinjau-pembangunan-jembatan-musi-iv-dengan-perahu/>, diakses 12/09/2023.
- <https://lpse.pu.go.id>, diakses 12/9/2023.
- <https://finance.detik.com/infrastruktur/d-3847865/jembatan-terpanjang-di-timur-ri-ini-dilengkapi-sensor-pengaman>, diakses 12/09/2023.

https://id.wikipedia.org/wiki/Jembatan_Kutai_Kartanegara, diakses 14/09/2023.
<https://www.anateknik.co.id/abdulrahimtanjung/articles/jembatan-terpanjang-dan-tercanggih-yang-dimiliki-indonesia-apakah-ada-di-provinsi-kamu>, diakses 12/9/2023.