

Desain Rencana Pemasangan *Structural Health Monitoring System* Jembatan Rangka Baja (Studi Kasus: Jembatan Sendangmulyo)

Bagus Acung Billahi⁽¹⁾, Kukuh Wisnuaji Widiatmoko⁽²⁾

Universitas Semarang
Jl. Soekarno Hatta-Tlogosari Semarang – Jawa tengah - Indonesia

Email: ¹bagusacung50@gmail.com

Tersedia Online di

<http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant>

Sejarah Artikel

Diterima pada 4 Maret 2022
Disetujui pada 23 Mei 2022
Dipublikasikan pada 31 Mei 2022
Hal. 537-545

Kata Kunci:

Structural Health Monitoring System; Evaluasi Dini; Sensor; Jembatan Rangka Baja

DOI:

<http://dx.doi.org/10.28926/briliant.v7i2.974>

Abstrak: Negara Indonesia memiliki banyak daratan – daratan yang di kelilingi pegunungan ataupun sungai. Infrastruktur yang bisa digunakan sebagai penghubung dari satu daratan ke daratan lainnya bisa menggunakan struktur jembatan. Struktur jembatan adalah konstruksi yang penting untuk Indonesia karena salah satu infrastruktur penunjang untuk aktivitas – aktivitas masyarakat. *Structural Health Monitoring System* dapat menjadi metode pilihan yang bisa digunakan untuk melakukan perawatan setiap saat pada struktur jembatan, melihat pentingnya struktur tersebut bagi masyarakat. Agar penerapan metode *Structural Health Monitoring System* berjalan maksimal di perlukan desain rencana yang matang. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui type sensor, jumlah sensor dan penempatan sensor yang efektif dalam rangka penempatan *Structural Health Monitoring System* pada struktur jembatan rangka baja Sendangmulyo Rowosari Semarang. Struktur jembatan rangka baja Sendangmulyo Rowosari dibangun untuk menunjang kebutuhan infrastruktur, ekonomi dan sosial di daerah tersebut, Hasil analisa menunjukkan 7 jenis sensor yang sebaiknya digunakan pada struktur jembatan Sendangmulyo Rowosari Semarang. Posisi penempatan sensor ada di bagian pylon, deck, rangka bagian kanan kiri struktur jembatan.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki kondisi alam dimana daratan-daratan nya terdapat banyak pegunungan maupun aliran sungai. Penghubung dibutuhkan untuk dapat memaksimalkan hubungan antar wilayah terutama daerah yang terisolir, penghubung tersebut berupa struktur jembatan yang bisa menjadi prasarana transportasi yang memadai. Jembatan merupakan suatu konstruksi yang memungkinkan suatu jalan menyilang dari sebuah sungai, lembah atau suatu daerah yang kontur permukaannya beda tingginya digunakan sebagai sarana transportasi. Desain perencanaan dan perancangan jembatan harus mempertimbangkan beberapa aspek seperti: aspek lalu lintas transportasi, aspek persyaratan teknis, aspek estetika arsitektural (Supriyadi dan Muntohar, 2007). Sistem perawatan yang berkala diperlukan untuk mengetahui dan memastikan bahwa jembatan tersebut masih layak untuk digunakan atau biasa disebut juga dengan *Structural Health Monitoring System*.

Struktur jembatan yang sudah menua, kondisi lingkungan tidak menentu, dan ditambah beban kendaraan yang melaluinya adalah subjek yang harus diawasi pada pemeliharaan jembatan. Pengawasan jembatan dan pendeteksian deformasi struktur diperlukan yang disebabkan oleh operasi-operasi normal atau dampak-dampak lingkungan seperti temperatur, kelembapan, dan beban kendaraan berat. Selain itu, pengawasan struktur secara keseluruhan perlu dilakukan setelah kondisi ekstrem terjadi, seperti gempa bumi (Putra et al., 2018).

Metode pengawasan dan pendeteksian yang masih digunakan saat ini masih menggunakan metode konvensional yang memerlukan biaya lebih mahal dan waktu yang sangat lama terlebih apabila struktur jembatan yang ditinjau sangat besar.

Structural Health Monitoring System sangat penting dalam berbagai lingkup penelitian seperti di bidang kedirgantaraan, bidang teknik sipil dan teknik mesin sebagaimana merupakan alat yang hebat untuk memastikan integritas bangunan dan keamanan serta menjadi sangat populer selama beberapa dekade terakhir (Neves, 2017). Prinsip dari *Structural Health Monitoring System* dan pengaplikasiannya tidak hanya untuk menginspeksi infrastruktur yang sudah ada tapi juga bisa untuk pemantauan secara *lifetime* untuk proyek konstruksi di kemudian hari (Spencer dan Cho, 2011). Melalui prinsip tersebut dapat dilakukan diagnosis pola gagal pada struktur jembatan. Tujuan dari *Structural Health Monitoring System* pada jembatan rangka baja adalah meminimalisir biaya pengoperasian dari metode konvensional dan menyediakan sistem perawatan struktur jembatan yang tentunya lebih akurat.

Structural Health Monitoring System dapat mendeteksi kerusakan pada jembatan dengan metoda pengujian tidak merusak pada struktur jembatan, dengan cara mengintegrasikan struktur untuk memonitor kesehatan pada struktur jembatan secara keseluruhan ataupun sebagian (Nababan, 2008). Metode ini dapat memperpanjang umur layan struktur jembatan dikarenakan kerusakan atau penurunan kemampuan dapat diketahui lebih awal sebelum terjadi kerusakan yang lebih berat dan yang pastinya memerlukan biaya perawatan yang sangat besar.

Metode pemeliharaan *predictive maintenance* adalah suatu metode pemeliharaan yang bersifat prediksi, merupakan tindak lanjut dari metode pemeliharaan *preventive maintenance*. Tipe pemeliharaan ini lebih maju dibandingkan metode pemeliharaan preventive, sehingga metode ini merupakan metode terbaik dalam melakukan perawatan terhadap suatu struktur. Dari metode ini dapat diketahui masalah – masalah yang terjadi pada struktur melalui salah satu indikator yaitu getaran dari struktur, dengan media pembacaan dari suatu sensor yang ditempel.

Predictive maintenance lebih detail lagi adalah melakukan perencanaan inspeksi atau prediksi yang akurat terhadap suatu struktur. Metode *predictif* telah berguna untuk mengurangi biaya siklus hidup dari struktur dan dapat ditemukan cara pemeliharaan yang lebih efisien khususnya soal anggaran pemeliharaan. Metode pemeliharaan *predictive maintenance* dinilai sangat tepat untuk memantau kondisi struktur bahkan bagian elemen dari struktur (Ines dan Jorge, 2010). Sesuai dengan tujuan penggunaan *structural health monitoring system*, maka ada beberapa pilihan level *monitoring* yang dapat diambil. Level tersebut tergantung pada parameter-parameter yang akan di monitor. Level *Structural Health Monitoring System* di klasifikasikan dalam 4 kelas :

- Kelas 1 : Penting untuk semua jenis jembatan
- Kelas 2 : Perlu untuk Optimal *Structural Health Monitoring System*
- Kelas 3 : Perlu untuk *Minimum Maintenance*
- Kelas 4 : Baik untuk diketahui

Atas dasar klasifikasi tersebut diatas dibuat tingkatan/level dari *Structural Health Monitoring System* yang kemudian dibagi atas 3 tingkatan/level :

BASIC LEVEL : Kelas 1 + Kelas 2

INTERMEDIATE : Kelas 1 + Kelas 2 + Kelas 3

ADVANCE : Kelas 1 + Kelas 2 + Kelas 3 + Kelas 4

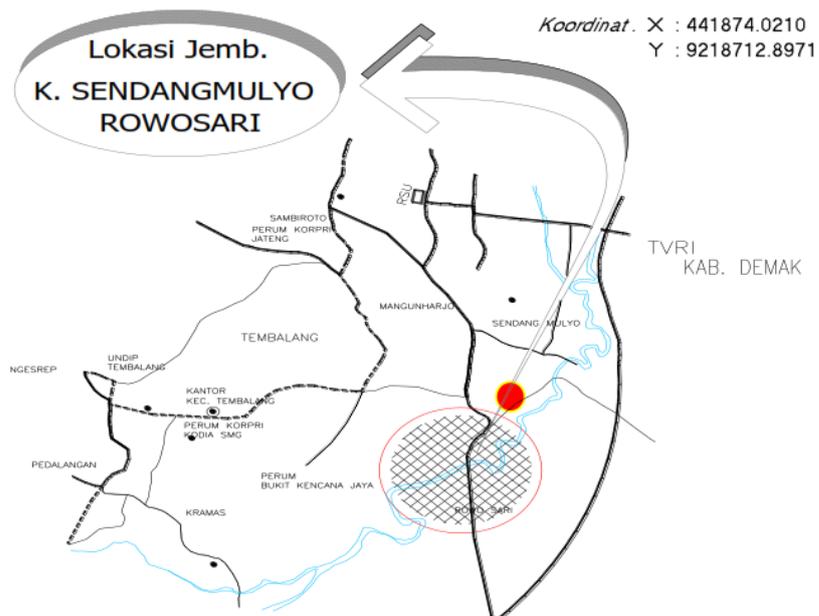
Pada infrastruktur yang kompleks yang tentu saja memerlukan biaya investasi yang tinggi pemilihan level SHMS yang tinggi merupakan pilihan yang bijaksana (Nababan, 2008). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa rencana jumlah sensor yang akan digunakan, tipe sensor yang akan digunakan, dan penempatan sensor yang akan digunakan agar efektif sesuai kebutuhan.

METODE

1) Melakukan identifikasi mengenai metode desain *Structural Health Monitoring System (SHMS)* pada struktur jembatan rangka baja. Menyiapkan literatur – literatur serta teori yang berhubungan dengan metode perawatan kesehatan struktur jambatan rangka baja. 2) Mengumpulkan data-data teknis jembatan seperti, geometri struktur, dimensi gelagar yang bersumber dari laporan dinas terkait yang akan digunakan sebagai acuan desain *Structural Health Monitoring (SHM)* jembatan. 3) Melakukan pengamatan secara langsung pada struktur jembatan, untuk mengetahui posisi dan jumlah sensor yang akan digunakan nantinya. 4) Penentuan posisi sensor, jumlah sensor, dan tipe sensor yang akan digunakan pada struktur jembatan serta koordinasi dengan dinas terkait.

Material

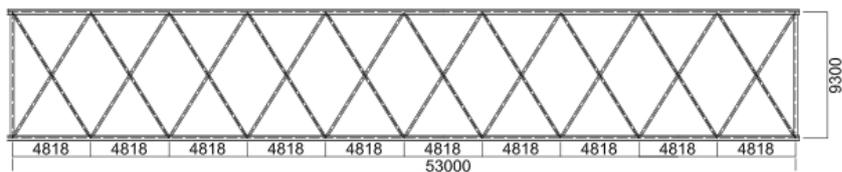
Jembatan rangka yang digunakan sebagai studi kasus pada penelitian ini adalah jembatan rangka baja Sendangmulyo Rowosari struktur jembatan kelas C yang terletak di Jl. Rowosari Raya, Kota Semarang, Indonesia. Struktur jembatan mempunyai panjang total 53 m, lebar 9.3 m dan tinggi jembatan yaitu 5 m ditunjukkan pada Gambar. 2. Tebal plat buhul adalah 21 mm dan menggunakan 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 (Bina Marga, 2012).



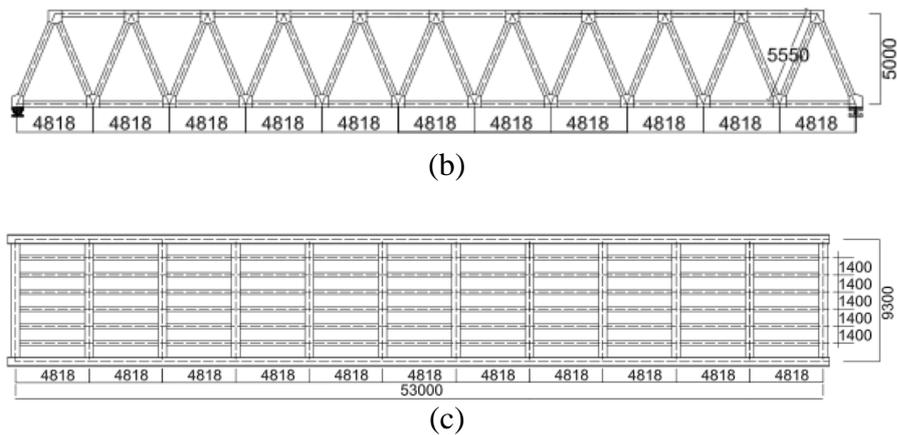
Gambar 1. Denah Lokasi Penelitian (Bina Marga, 2012)



Gambar 2. Sendangmulyo Rowosari



(a)



Gambar 3. Data Teknis Struktur Jembatan : (a) Tampak Atas, (b) Tampak Samping, (c) Tampak Bawah

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain rencana pemasangan sensor *Structural Health Monitoring System* pada struktur jembatan rangka baja Sendangmulyo Rowosari, menggunakan metode pengamatan langsung di lapangan dan juga berdasarkan data teknis dari dinas terkait. Berdasarkan hasil pengamatan langsung di lapangan, berikut ini saran terhadap pemilihan type sensor, jumlah sensor dan lokasi penempatan sensor yang akan dipasang pada struktur jembatan Sendangmulyo Rowosari.

a. *Accelerometer*

Accelerometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi pada jembatan khususnya pada elemen pylon, kebel dan dek jembatan (Sutandi dan Pratama, 2011). Struktur jembatan rangka baja Sendangmulyo Rowosari direncanakan *accelerometer* yang digunakan berjumlah 6 buah masing – masing mempunyai 3 axis, sensor tersebut dipasang untuk mengetahui pola modus getar dan frekuensi natural pada struktur jembatan tersebut. 2 buah *accelerometer* dipasang pada struktur rangka baja bagian kiri, kemudian 2 buah *accelerometer* dipasang pada struktur rangka baja bagian kanan untuk mengetahui pola getar pada arah vertical dan 2 buah sensor *accelerometer* yang lain dipasang pada deck bagian bawah bertujuan untuk mengetahui pola getar arah horizontal dan lateral.

Tabel 1. Spesifikasi *Accelerometer*

<p>Size : 4 x 4 x 1,45 mm</p> <p>3 – Axis sensing</p> <p>Single – supply operations : 1,8v to 3,6v</p> <p>Full scale measurement range can beset to $\pm 3g$</p>

b. Anemometer

Sensor *anemometer* merupakan sensor yang berfungsi untuk mengukur kecepatan angin dan arah angin pada suatu titik acuan, hasil yang akan di dapatkan yaitu kecepatan angin rata – rata serta turbulensi (Sutandi dan Pratama, 2011). Sensor ini dipasang pada bagian struktur baja kanan dan juga kiri, dikarenakan kecepatan dan arah angin pada bagian tersebut cukup kencang. Sensor ini juga bisa digunakan sebagai sensor batas keamanan untuk kendaraan yang akan melintas masuk ke jembatan.

Tabel 2. Spesifikasi *Anemometer*

<i>Merk Lutron</i>
<i>Type AM 4206</i>
<i>Range 0,4-25,0 m/s, Resolution 0,1 m/s</i>
<i>Accuracy $\pm (2\% - 2d)$</i>

c. Global positioning System (GPS)

Global positioning System (GPS) dipasang pada deck jembatan, untuk mengetahui pergeseran posisi dari elemen – elemen struktur secara 3 dimensi dalam kondisi lama dan *real time*, parameter dinamis dan kondisi sekitar (Sutandi dan Pratama, 2011). Jumlah *Global positioning System (GPS)* yang dipasang adalah 2 buah, di letakkan pada tengah bentang jembatan untuk mengetahui pergeseran horizontal jembatan secara berkala.

Tabel 3. Spesifikasi *Global positioning System (GPS)*

<i>GPS 120 channels</i>
<i>Measurement accuracy</i>
<i>Maks. 8 mm + 0,5 ppm (horisontal)</i>
<i>Maks 15 mm + 0,5 ppm (vertikal)</i>
<i>Sampling rate 10 data/s</i>

d. Weigh in motion (WIM)

Weigh in motion (WIM) merupakan suatu sistem yang digunakan untuk melakukan pengukuran beban kendaraan dalam kondisi kendaraan bergerak. Teknologi *Weigh in motion (WIM)* ini merupakan upgrade terbaru dari metode pengukuran beban kendaraan yang selama ini dilakukan secara statis, dimana pengukuran dilakukan ketika kendaraan dalam keadaan berhenti. Pengukuran dilakukan untuk mendapatkan data terkait beban kendaraan yang terdiri dari beban gandar (*axle weight*), beban total (*gross weight*), jarak antar gandar (*axle spacing*), klasifikasi kendaraan dan kecepatan kendaraan. Sensor ini dipasang pada bagian pintu masuk jembatan dari arah utara dan selatan agar dapat diketahui kendaraan mana yang overload dapat diminta untuk berputar balik.

e. Displacement transducer

Displacement transducer dipasang untuk mengetahui pergerakan konstruksi jembatan (Sutandi dan Pratama, 2011). *Displacement transducer* yang direncanakan akan dipasang pada girder untuk mengetahui penurunan

pada tumpuan struktur jembatan tersebut. 2 sensor dipasang pada *pylon* bagian utara dan bagian selatan.

Tabel 4. Spesifikasi *Displacement transducer*

Sensor linier WY 50mm
Presisi linier $\pm 0.1\%-0.5\%$
Resistensi 2 regal
Keluaran 0-5V/0-10V/4-20mA/RS485

f. *Digital video camera*

Digital video camera digunakan untuk mengetahui kondisi seluruh struktur jembatan. Penempatan digital video camera berada struktur rangka baja bagian utara sebanyak 1 buah dan struktur rangka baja bagian selatan sebanyak 1 buah. Fungsi digital video camera ini adalah mengidentifikasi kendaraan yang overload dapat di pantau dari mulai masuk atau keluar jembatan dan merekam kondisi lalu lintas pada struktur jembatan.

Tabel 5. Spesifikasi *Digital video camera*

Resolution Min 1920 pixels x 1080 pixels
Min. 3D Noise Reduction
Night vision and image capture
Delay synchronization Maks. 50 μ S

g. *Expansion joint meter*

Expansion joint meter berfungsi untuk mengetahui *displacement* atau pergerakan pada girder jembatan (Juandra dan Umi, 2021). *Expansion joint meter* yang dipasang berjumlah 2 buah, dipasang pada bagian pier jembatan arah utara dan arah selatan. *Expansion Joint meter* menghasilkan nilai *displacement* yang terjadi, sehingga alat ini dibutuhkan pada jembatan untuk mengetahui pergeseran yang terjadi akibat getaran yang berlebih. Ambang batas (*treshold*) maksimum di ujung *expansoin joint meter* sebesar 175 mm untuk kategori peringatan dan 560 mm untuk kondisi bahaya.

Tabel 6. Spesifikasi *Expansion joint meter*

Range of measurement Min. 100 mm
Measurement accuracy Maks. $\pm 0,2\%$ Full
Scale
Resolution Maks. 0,025%
Sampling rate Min. 1 data per detik

Rekap type sensor, posisi sensor dan jumlah sensor yang dibutuhkan

Hasil pengamatan di lapangan dan data teknis struktur jembatan, kemudian setelah di analisa mendapatkan type sensor, jumlah sensor dan posisi sensor yang efektif untuk jembatan rangka baja Sendangmulyo Rowosari sebagai berikut:

Tabel 7. Hasil analisa sensor yang akan digunakan

No	Type sensor	Jumlah sensor	Posisi sensor
1	<i>Accelerometer</i>	6	Rangka bagian kiri dan kanan dan deck jembatan
2	<i>Anemometer</i>	2	Rangka bagian kiri dan kanan
3	<i>Global positioning System (GPS)</i>	2	Deck bawah jembatan
4	<i>Weigh in motion (WIM)</i>	2	Pintu masuk jembatan
5	<i>Displacement transducer</i>	2	<i>pylon</i> bagian utara dan bagian selatan
6	<i>Digital video camera</i>	2	Rangka bagian kiri dan kanan
7	<i>Expansion joint meter</i>	2	Pier jembatan arah utara dan arah selatan

KESIMPULAN

Hasil analisa desain rencana *Structural Health Monitoring System* pada jembatan rangka baja Sendangmulyo Rowosari mendapatkan 7 jenis sensor yang sebaiknya dipasang pada struktur jembatan tersebut, agar kondisi struktur jembatan bisa terpantau setiap saat serta juga untuk mengurangi resiko kegagalan pada konstruksi jembatan. Posisi penempatan sensor sebagian besar ada pada bagian dek dan struktur baja utama pada jembatan sesuai prioritas pemasangan sensor untuk type jembatan rangka baja.

SARAN

Perlu dilakukan perawatan yang ketat untuk konstruksi struktur jembatan rangka baja, untuk meminimalisir terjadinya kegagalan konstruksi serta menambah panjang umur layan pada jembatan tersebut. Pemeliharaan dan perawatan harus dilakukan secara rutin, berkala, inspeksi bulanan ataupun harian pada bagian – bagian konstruksi yang krusial.

DAFTAR RUJUKAN

- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2012). Survey Kondisi Jembatan. Semarang: Direktorat Jendral Bina Marga.
- Ines, F., & Jorge, B. (2010). A Systematic Approach For Maintenance Budgeting Of Buildings Façades Based On Predictive And Preventive Strategies. *Journal Construction and Building Materials*. Vol 24. pp. 1718-1729. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.02.017>.
- Juandra, H., & Umi, K. (2021). Evaluasi Rencana Pemasangan Sensor Structure Health Monitoring System Jembatan Pulau Balang Ii. *Teras Jurnal*. Vol 11. <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v11i2.549>
- Nababan, P. H. A., Structural Health Monitoring System Alat Bantu Mempertahankan Usia Teknis Jembatan. (2008). *Proceeding of one day*

- seminar construction and maintenance of main span suramadu bridge, Surabaya.
- Neves, C. (2017). Structural Health Monitoring of Bridges. Department of Civil and Architectural Engineering, Stockholm, Sweden.
- Putra, S. A., Sani, G. A. A., Nurwijaya, A. T., Anandadiga, A., Wijayanto, P. B., Trilaksono, B. R., & Riyansyah, M. (2018). Sistem Penilaian Kondisi Jembatan Menggunakan Respons Dinamik dengan Wireless Sensor Network. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, 7(3), 338–343. <https://doi.org/10.22146/jnteti.v7i3.444>
- Spencer, B. F. Jr., & Cho, S. (2011). Wireless Smart Sensor Technology for Monitoring Civil Infrastructure: Technological Developments and Full-scale Applications. *Journal Civil and Environmental Engineering*.
- Supriyadi, B., & Muntohar, A. (2007). *Jembatan*. Yogyakarta : Beta Offset.
- Sutandi, A. C., & Pratama, B. (2011). Evaluasi Awal Pemasangan Structural Health Monitoring System Pada Jembatan Suramadu. *Seminar Nasional Transportasi Yang Berkelanjutan*. Universitas Udayana Bali.