

ANALISIS KEAMANAN JEMBATAN RANGKA BAJA SOEKARNO – HATTA MALANG DITINJAU DARI ASPEK KESEHATAN, TEGANGAN PELAT BUHUL, DAN SIMULASI KEBAKARAN

Maulana Derry Imansyah, Faris Haqqul Anwar, Sugeng P. Budio, Roland Martin S.

Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

e-mail: farishaqgul@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu jalur pergerakan transportasi yang patut menjadi perhatian di Kota Malang adalah Jembatan Rangka Baja Soekarno-Hatta, yang merupakan akses utama pengguna jalan menuju ke area pendidikan dan ke arah kota wisata Batu. Jembatan ini dirasa telah mengalami penurunan kualitas. Dalam penelitian ini, pembahasan dalam difokuskan kepada analisis kesehatan jembatan, kondisi pelat buhul akibat distribusi tegangan yang terjadi, dan kondisi jembatan akibat beban termal. Setelah dilakukan uji *Rebound Hammer* didapatkan nilai karakteristik sebesar 277,66 kg/cm² dan nilai *rebound* sebesar 46,79. UPV menunjukkan kualitas beton yang rendah (kecepatan gelombang 1633,6 m/s < 3000 m/s). Pada analisis tegangan pelat buhul, perbedaan antara kondisi ideal dan eksisting sangat jelas. Konsentrasi tegangan pada kondisi ideal tidak melebihi tegangan leleh, sedangkan pada kondisi eksisting konsentrasi tegangan melebihi tegangan leleh. Pada analisis kebakaran di atas jembatan, ketika terjadi kebakaran di tengah bentang, total waktu yang dibutuhkan sampai tegangan batang diagonal mencapai leleh adalah setelah menit ke 18.90 (1134 s) dan mencapai titik putus pada menit ke 19.23 (1154 s). Sedangkan, ketika terjadi kebakaran pada bagian pinggir bentang, waktu yang dibutuhkan jembatan untuk mencapai leleh adalah setelah menit ke 15.81 (949 s), dan pada menit ke 17.95 (1077 s) tegangan batang diagonal mencapai titik putus.

Kata Kunci: Jembatan Soekarno-Hatta Malang, Keamanan, Kesehatan, Tegangan Pelat Buhul, Analisis Kebakaran.

PENDAHULUAN

Keberadaan infrastruktur transportasi sangatlah vital dalam menunjang keberhasilan pembangunan suatu negara. Infrastruktur transportasi tersebut menjadi pendorong bagi berjalannya perdagangan dan industri, dua hal yang menjadi inti dalam pembangunan bidang ekonomi. Salah satu infrastruktur transportasi adalah jembatan.

Karena fungsi jembatan yang sangat vital dalam kehidupan sehari-hari, maka diperlukan adanya evaluasi kondisi jembatan. Dalam penelitian ini pembahasan lebih difokuskan kepada analisis keamanan jembatan, yang meliputi aspek kondisi kesehatan elemen jembatan, kondisi pelat buhul akibat distribusi tegangan yang terjadi, dan kondisi jembatan yang diakibatkan oleh beban termal.

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat disampaikan beberapa tujuan penelitian yaitu:

1. Mengetahui tingkat keamanan jembatan ditinjau dari kondisi kesehatan elemen material jembatan rangka-baja Soekarno-Hatta.
2. Mengetahui tingkat keamanan jembatan ditinjau dari kondisi pelat buhul akibat distribusi tegangan yang terjadi.
3. Mengetahui lama waktu yang dibutuhkan jembatan untuk runtuh ketika terjadi kebakaran di atas jembatan.

Dengan adanya penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi pada perkembangan pengetahuan di bidang Teknik Sipil khususnya tentang Uji Forensik jembatan di Indonesia.

KAJIAN PUSTAKA

Pemeriksaan jembatan adalah salah satu komponen sistem manajemen yang terpenting. Jenis pemeriksaan yang utama dalam BMS-K8 1992 antara lain pemeriksaan inventarisasi, pemeriksaan rutin, pemeriksaan mendetail, serta pemeriksaan khusus. Elemen-elemen yang harus diperiksa pada jembatan rangka antara lain: material beton, material baja, *Rubber gap*, *elastomer*, trotoir, lapisan aspal dan lubang drainase.

Dalam pemeriksaan material beton, dapat dilakukan beberapa pengujian, diantaranya *UPV Test* serta *Schmidt Hammer Test*. *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* merupakan salah satu metode NDT dengan menggunakan perambatan gelombang yang didasari waktu tempuh gelombang dan getaran gelombang ultrasonik terhadap lebar benda uji yang dijadikan tempat lintasan gelombang. Cara kerja UPV pada dasarnya mengirim getaran gelombang pada beton, menerima dan memperbesar getaran untuk selanjutnya dihitung lama perambatan getaran gelombang tersebut.

Tabel 1. Kecepatan Gelombang dan Kualitas Beton

Sl No.	Pulse Velocity by Cross Probing (km/sec)	Concrete Quality Grading
1.	Above 4.5	Excellent
2.	3.5 to 4.5	Good
3.	3.0 to 3.5	Medium
4.	Below 3.0	Doubtful

Note — In case of "doubtful" quality it may be necessary to carry out further tests.

(Sumber: *Indian Standard 133111 part 1*, 1992)

Rebound Hammer merupakan salah satu dari alat uji beton secara NDT. Bagian utama *rebound hammer* terdiri dari batang pemukul (*plunger*) dan pegas dengan beban (*hammer*) yang terbuat dari baja.

Nilai *rebound* yang terbaca juga dapat digunakan untuk menentukan kuat tekan beton. Jika angka *rebound (R)* yang dihasilkan oleh *rebound hammer* rendah menunjukkan bahwa permukaan beton

tersebut lunak dan kekuatannya rendah. Angka *rebound* yang tinggi menunjukkan beton tersebut keras dan kuat.

Menurut Petros Xanthakos (1994), perpindahan tegangan melalui pelat buhul dapat dicapai dengan 2 cara. Apabila elemen batang merupakan batang menerus (tanpa sambungan), sebagian besar tegangan disalurkan langsung melalui batang dan hanya sebagian kecil yang disalurkan melalui pelat buhul. Penyusunan rangka batang seperti ini digunakan untuk menghindari beban yang berlebihan pada pelat buhul. Untuk pelat buhul yang memiliki batang tekan dan memiliki arah saling berlawanan, permukaan yang menahan beban pada batang-batang di buhul tersebut direncanakan saling menempel (*full contact*). Pemindahan beban antar pelat terjadi melalui tahanan gesek (μT) dan desakan (B) tangkai paku terhadap sisi lubang. Harga μ berkisar antara 0,2 dan 0,6, yang bergantung pada kondisi permukaan potongan yang disambung (Salmon, Charles G., 1997).

Panas, secara fisika dapat didefinisikan sebagai transfer energi termal pada suatu sistem termodinamika. Perpindahan panas dapat diklasifikasikan menjadi 3 mekanisme, yaitu konduksi, konveksi, serta radiasi.

Sifat dari material yang mempengaruhi laju perpindahan panas pada suatu material antara lain koefisien perpindahan panas, kepadatan, konduktivitas termal, difusivitas termal, tegangan termal dan panas jenis.

Pada temperatur tinggi, sifat-sifat material baja dapat mengalami penurunan. Seiring dengan bertambahnya temperatur pada baja, tegangan leleh semakin menurun. Selain itu, tegangan putus serta modulus elastisitas bahan juga menurun.

Salah satu masalah yang paling penting dalam proses desain struktur adalah pembatasan dimana struktur akan gagal. Definisi atau parameter dari kegagalan dapat ditentukan oleh peninjau. Beberapa kriteria kegagalan yang umum

adalah putus/gagalnya salah satu elemen struktur, deformasi permanen (akibat leleh) yang berlebihan, usia fatik, keruntuhan tekuk, serta lendutan atau getaran yang berlebihan. Pemilihan dari kriteria kegagalan tersebut digunakan untuk mengevaluasi suatu struktur.

METODOLOGI PENELITIAN

Pemeriksaan kesehatan dalam jembatan rangka baja bertujuan untuk mendapatkan data-data yang tepat dari kondisi bahan yang berpengaruh terhadap kekuatan dan kekakuan struktur untuk mengetahui tingkat pelayanan struktur jembatan, sehingga dapat diketahui apakah jembatan masih dalam keadaan baik atau memerlukan perbaikan untuk meningkatkan tingkat pelayanan. Tahap-tahap analisis yang dilakukan yaitu:

- Menganalisis kondisi kesehatan jembatan terhadap tingkat pelayanan jembatan
- Melakukan pemeriksaan dan pengambilan data kondisi kesehatan.

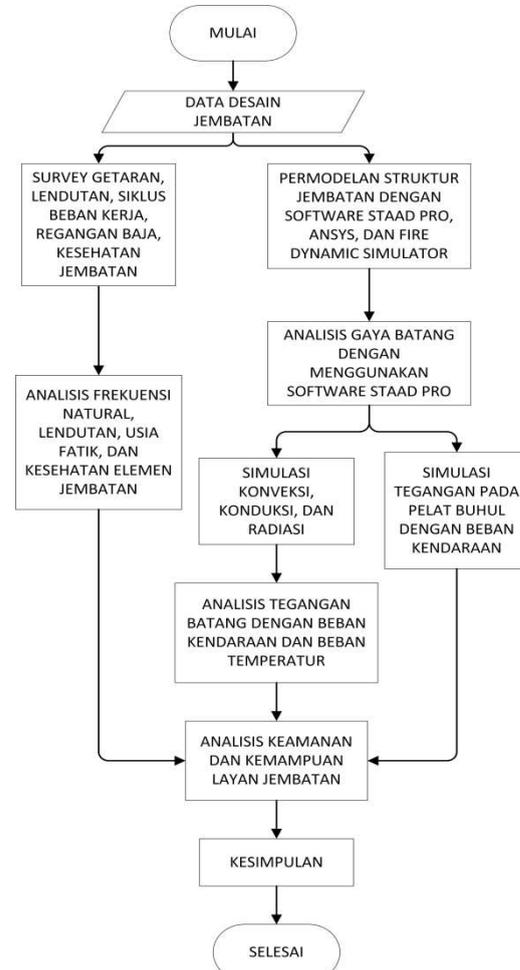
Pengumpulan Data

Gambar perencanaan jembatan dan pemeriksaan kondisi eksisting diperlukan untuk mengetahui kesesuaian antara gambar rencana dengan kondisi sesungguhnya dan kondisi kesehatan jembatan. Data ini akan digunakan dalam tahap analisa dengan menggunakan bantuan *software* untuk mengetahui perilaku awal jembatan terhadap pembebanan yang terjadi. Selain itu, data ini akan berguna dalam membantu menentukan lokasi-lokasi alat uji untuk pengujian lain yang akan dilakukan, seperti *Hammer test* dan *UPV test* pada beton.

Metode Analisis

Penentuan kondisi elemen jembatan dilakukan sesuai dengan yang tercantum pada BMS K8 1992. Nilai kondisi setiap elemen dipengaruhi oleh kerusakan pada struktur tersebut, tingkat kerusakan yang telah dicapai,

perkembangan/volume kerusakan, fungsi elemen, serta pengaruh kerusakan tersebut terhadap elemen yang lain. Suatu nilai sebesar 1 atau 0 diberikan kepada elemen sesuai dengan setiap kerusakan yang ada.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Analisis tegangan pelat buhul ditinjau pada 2 kondisi, yaitu kondisi buhul eksisting (batang tidak saling menempel/berongga) dan kondisi buhul ideal (batang saling menempel). Dalam analisis ini digunakan mutu baja BJ 37 dengan tegangan leleh $f_y=240$ MPa. Analisis dilakukan dengan menggunakan bantuan *software Ansys Mechanical*.

Simulasi kebakaran dimodelkan dengan perpindahan panas tipe konveksi, konduksi, dan radiasi. Perpindahan panas secara konveksi dan radiasi dilakukan dengan bantuan *software Fire Dynamics Simulator*. Output dari analisis ini dimasukkan ke input dari analisis konduksi pada batang dengan bantuan *software*

Ansys APDL Multiphysics. Pada perkiraan keruntuhan struktur, penurunan sifat-sifat material juga diperhitungkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN Kesehatan Elemen Material

Pemeriksaan detail bertujuan untuk mendata semua kerusakan yang berarti pada elemen jembatan, dan ditandai dengan nilai kondisi untuk setiap elemen dalam komponen jembatan.

Hasil Uji Rebound Hammer

Nilai *rebound* yang dibaca oleh *rebound hammer* tidak hanya digunakan untuk mengukur kekerasan beton tapi juga dapat menentukan kuat tekan beton.

Dari hasil pengujian didapatkan nilai rata-rata kuat tekan beton sebesar 283,275 kg/cm², standar deviasi sebesar S = 3,421; serta nilai rata-rata *rebound* sebesar 46,795. Sehingga nilai karakteristik beton dapat dihitung dengan rumus:

$$\begin{aligned} K &= f_c' \text{ rata-rata} - 1,64 \times S \\ &= 283,27 - 1,64 \times 3,42 \\ &= 277 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Nilai rata-rata *rebound* yang tinggi menunjukkan permukaan beton tersebut keras.

Hasil Uji UPV

Hasil pengujian UPV untuk bidang vertikal sebesar 2113,17 m/s. Sedangkan untuk kecepatan rata-rata bidang horizontal sebesar 1633,6 m/s.

Berdasarkan hasil penelitian, kecepatan rata-rata dari pengujian UPV untuk tengah bentang 40 m sebesar 1280,08 m/s dan kecepatan rata-rata untuk pinggir bentang sebesar 2151,13 m/s. Sedangkan untuk kecepatan gelombang rata-rata dari pengujian UPV pada tengah bentang 60 m sebesar 1873,5 m/s dan kecepatan gelombang rata-rata untuk pinggir bentang sebesar 2245,67 m/s. Kualitas beton dalam pengujian ini memiliki kualitas yang buruk (kecepatan gelombang < 3000 m/s).

Kerusakan - kerusakan yang terjadi disebabkan oleh kurangnya perawatan jembatan dan volume kendaraan yang berlebih.

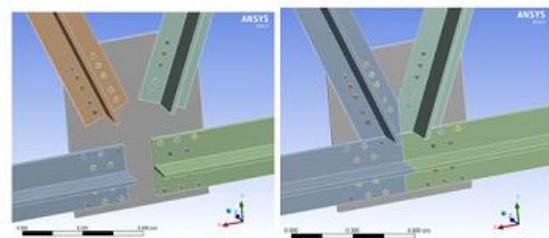
Tabel 2. Penilaian Kondisi Elemen Jembatan

No	Elemen	Nilai kondisi					
		S	K	P	F	P	NK
1	Material Beton	1	1	1	0	1	4
2	Material Baja	0	0	0	0	1	1
3	Rubber Gap	0	1	1	1	1	4
4	Elastomer/ perletakan	0	0	0	0	0	0
5	Trottoir	0	1	1	0	0	2
6	Lapisan Aspal	1	1	0	0	1	3
7	Lubang Drainase	0	0	0	0	0	0

(Sumber: hasil penelitian)

Analisis Tegangan Pelat Buhul

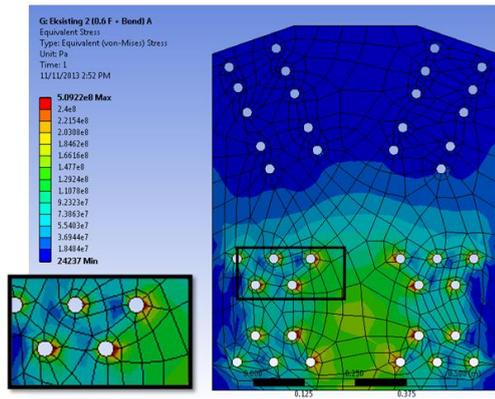
Pada analisis ini distribusi tegangan antara kondisi ideal dan eksisting dibandingkan, dengan meninjau 3 pelat buhul dengan lokasi yang berbeda. Tiga pelat buhul ini mewakili 3 kondisi, yaitu ketika kedua batang horizontal menerima tegangan tekan, tegangan tarik, serta ketika batang diagonal memiliki tegangan/gaya batang yang paling besar.



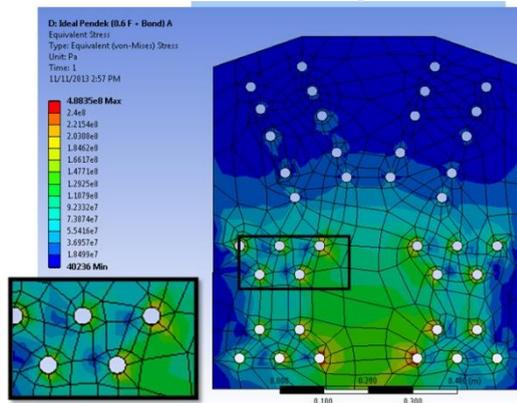
a. Kondisi eksisting (berongga) b. Kondisi ideal (batang menerus)

Gambar 2. Kondisi sambungan pelat buhul

Setelah dilakukan analisis dengan menggunakan program Ansys, didapatkan bahwa distribusi tegangan pada buhul eksisting terkonsentrasi pada pelat buhul. Tegangan tersebut melebihi tegangan leleh (f_y). Sedangkan distribusi tegangan pada buhul ideal tidak dijumpai tegangan yang melebihi tegangan leleh.



Gambar 3. Distribusi Tegangan Buhul A Kondisi Eksisting



Gambar 4. Distribusi Tegangan Buhul A Kondisi Ideal

Analisis Keamanan Berdasarkan Perpindahan Panas

Pada analisis keamanan ini digunakan *software* FDS (*Fire Dynamic Simulator*) dan *software* AnSys.

Permodelan Tumpahan Bahan Bakar pada Pelat Lantai Kendaraan

Permodelan kebakaran berupa truk/bus, memiliki kapasitas tangki bensin sebesar 600 liter yang tumpah ke pelat lantai kendaraan dan trotoir.

Volume tumpahan bensin = 0.6 m^3
 Luas area tumpahan = 5 m^2
 Jenis bahan bakar = Bensin

(Sumber : “*United States Nuclear Regulatory Commission – Estimating Burning Characteristic*”
 “*Society of Fire Protection Engineer Handbook Manual*”)

Dari data di atas, didapatkan perkiraan-perkiraan sebagai berikut:

Perkiraan laju pelepasan panas (Q) : 11957.53 kW

Laju pelepasan panas per sat luas (q) : $(11957.53/5) = 2391.51 \text{ kW/m}^2$

Perkiraan lama waktu pembakaran : 1614.53 sec = 26.91 min

Perkiraan tinggi kobaran api : 6.12 m

Perkiraan-perkiraan tersebut digunakan untuk menghitung konveksi serta radiasi panas pada *software* FDS.

Permodelan Konveksi dan Radiasi Menggunakan Software FDS

Pada permodelan di *software* FDS, panas yang masuk ke baja direkam dengan selang jarak tertentu. Hasil perhitungan ini berupa Laju Panas (*Heat Rate*, kW/m²) yang masuk ke rangka baja pada masing-masing titik selama 1600 detik (27 menit). Hasil perhitungan di atas digunakan untuk menghitung konduksi panas pada baja (*Transient Analysis*).

Permodelan Konduksi Panas Menggunakan Software Ansys

Permodelan ini menggunakan bantuan *software* ANSYS APDL *Multiphysics* dengan jenis *Heat Transient Analysis*. Waktu pada akhir analisis: 1600 s. Penurunan sifat material (Elastisitas, titik leleh, titik putus) juga diperhitungkan.

Analisis Gaya dan Perpindahan

Pada analisis Perhitungan menggunakan ANSYS APDL *Multiphysics* dibandingkan dengan *Direct Stiffness Method*. Dalam analisis ini memperhitungkan kombinasi antara beban lalu lintas serta termal.

Analisis Keruntuhan

Keruntuhan struktur akibat beban temperatur dapat dilihat dari beberapa kriteria (Randall F. Barron, *Design for Thermal Stresses*):

1. Putusnya (*breaking*) beberapa bagian:
Pada analisis kebakaran di atas jembatan, didapat waktu yang dibutuhkan jembatan untuk runtuh ketika terjadi kebakaran di tengah bentang dan di pinggir bentang.

Berdasarkan perhitungan ketika terjadi kebakaran di tengah bentang, total waktu yang dibutuhkan sampai tegangan batang diagonal mencapai leleh adalah setelah menit ke 18,90 (1134 s). Pada menit ke 19,23 (1154 s), tegangan batang diagonal mencapai titik putus. Sedangkan ketika terjadi kebakaran di pinggir bentang tegangan batang diagonal mencapai leleh adalah setelah menit ke 15,81 (949 s). Pada menit ke 17,95 (1077 s), tegangan batang diagonal mencapai titik putus.

Penyebab runtuhnya jembatan adalah kegagalan berupa putusnya batang diagonal, karena berdasarkan analisis tekuk serta deformasi masih belum ada tanda-tanda kegagalan.

2. Perpindahan (*displacement*) yang berlebihan)

Perhitungan perpindahan dilakukan dengan bantuan *software* Ansys dibandingkan dengan *Direct Stiffness Method* (DSM). Didapatkan hasil:

Perpindahan tepi : 34,6 mm (Ansys)
32,6 mm (DSM)

Perpindahan tengah : 53,7 mm (Ansys)
51,2 mm (DSM)

Perbedaan hasil antara kedua metode disebabkan karena pada analisis dengan menggunakan *Direct Stiffness Method* penurunan sifat material (elastisitas, titik leleh, titik putus) tidak diperhitungkan.

3. Keruntuhan tekuk (instabilitas elastis)

Perhitungan tekuk dilakukan dengan bantuan *software* Ansys APDL *Multiphysics*. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan beban temperatur, beban aksial, serta berat sendiri pada saat pertama kali terjadi leleh.

Hasil perhitungan keruntuhan tekuk sebagai berikut:

tengah bentang : 1,03 mm (batang atas)

: 2,88 mm (diagonal)

tepi bentang : 1,28 mm (batang atas)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Tingkat kemanan jembatan ditinjau dari kondisi kesehatan elemen material jembatan mengalami penurunan. Setelah dilakukan *Rebound Hammer* didapatkan nilai karakteristik sebesar 277,66 kg/cm² dan nilai *rebound* sebesar 46,79. Hasil pengujian UPV untuk bidang vertikal sebesar 2113,17 m/s. Sedangkan untuk kecepatan rata-rata bidang horizontal sebesar 1633,6 m/s. Kualitas beton dalam pengujian ini memiliki kualitas yang rendah (kecepatan gelombang < 3000 m/s). Nilai kecepatan rata-rata gelombang paling rendah terjadi pada bentang 40 m.
2. Tingkat keamanan jembatan ditinjau dari kondisi pelat buhul dalam kondisi eksisting mengalami ketidakseimbangan distribusi tegangan. Pada analisis tegangan pelat buhul perbedaan antara kondisi ideal dan eksisting sangat jelas. Konsentrasi tegangan pada kondisi ideal tidak melebihi tegangan leleh, sedangkan pada kondisi ideal konsentrasi tegangan melebihi tegangan leleh.
3. Pada analisis kebakaran di atas jembatan, ketika terjadi kebakaran di tengah bentang, total waktu yang dibutuhkan sampai tegangan batang diagonal mencapai leleh adalah setelah menit ke 18,9 (1134 s) dan mencapai titik putus pada menit ke 19,23 (1154 s). Sedangkan, ketika terjadi kebakaran pada bagian pinggir bentang, waktu yang dibutuhkan jembatan untuk runtuh lebih cepat. Berdasarkan perhitungan, tegangan batang diagonal mencapai leleh adalah setelah menit ke 15,82 (949 s), dan pada menit ke 17,95 (1077 s) tegangan batang diagonal mencapai titik putus.
4. Setelah dilakukan analisis kesehatan dan tegangan pelat buhul, dapat

disimpulkan bahwa tingkat keamanan jembatan rangka baja Soekarno-Hatta berada pada kondisi yang tidak aman.

Saran

1. Diperlukan perubahan pola pikir masyarakat terhadap tanggung jawab dalam menjaga kondisi jembatan.
2. Diperlukan adanya pemeriksaan dan perawatan secara berkala maupun secara khusus setelah dibangunnya jembatan.
3. Diperlukan pemeriksaan material baja menggunakan alat dengan metode Non Destructive Test.
4. Disarankan untuk melakukan pengambilan data *Hammer* dan UPV dari bagian atas pelat lantai jembatan.
5. Diperlukan permodelan dengan geometri yang lebih kompleks untuk mengetahui perilaku jembatan secara lebih detail pada saat terjadi kebakaran di atas jembatan.
6. Diperlukan penelitian atau studi literatur lebih lanjut mengenai perilaku baja ketika diberi beban temperatur.
7. Dengan mempertimbangkan kondisi kesehatan yang buruk, diperlukan upaya untuk mengganti jembatan secara keseluruhan sesuai dengan peraturan yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1993. *Bridge Management System Panduan Pemeriksaan Jembatan*: Jakarta. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Anonim, 1993. *Eurocode 3 Design of Steel Structures Part 1-2 Structural Fire Design*. London: CEN
- Anonim, 2009. *Panduan Pemeriksaan Jembatan Rangka Baja*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Anonim, 2009. *Perkuatan Struktur dan Lantai Jembatan Rangka Baja*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Berman, Jeffrey W., 2010. *Triage Evaluation of Gusset Plate in Steel Truss Bridge*. Seattle: University of Washington Press.
- Barron, Randall F., 2012. *Design of Thermal Stresses*. New Jersey: Wiley & Sons.
- Ghali, A., dkk, 2009. *Structural Analysis: A Unified Classical and Matrix Approach*. New York: Spon Press.
- Murthy, Jayathi Y. 2002. *Numerical Method in Heat, Mass, and Momentum Transfer*. London: Purdue University Press.
- Narang, Vikash A., 2005. *Heat Transfer Analysis in Steel Structures*. Worcester: Worcester Polytechnic Institute.
- Outinen, Jyri, dkk. 2002. *Mechanical Properties of Structural Steel at Elevated Temperatures and After Cooling Down*. Helsinki: Helsinki University of Technology Press.
- Ruina, Andy., dkk, 1999. *Introduction to Statics and Dynamics*. London: Oxford University Press.
- Salmon, Charles G., dkk. 1997. *Struktur Baja: Desain dan Perilaku Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Tonias, Demetrios E., 1995. *Bridge Engineering*. Singapore: McGraw-Hill, Inc.
- Xanthakos, Petros P., 1994. *Theory and Design of Bridges*. New York: John Wiley & Sons, Inc.