

Behavior Analysis of Forensic Audit Results at Pier 3 Mahakam Bridge

Aco Wahyudi Efendi¹

¹ Universitas Tridharma, Indonesia

¹aw.efendi2018@gmail.com

Abstract

The Mahakam Bridge that connects Samarinda Kota and Samarinda Seberang was again hit by a coal pontoon, the force of the impact caused the bridge body to vibrate. The collision caused the bottom of Main Pillar 3 (P3) on the Samarinda Kota and Samarinda Seberang sides to crack, as well as two defective foundation pile pipes. Non-destructive Test or non-destructive test is a Material Testing Technique without Destructing the Test Object. This test is carried out to ensure that the material we use is still safe and has not exceeded the damage tolerance limit. Based on the results of data analysis that has been carried out, it can be concluded that the results of the hammer test plate test on the Mahakam Bridge for the entire side of Balikpapan obtained a surface density value with a compressive strength of 296.3 kg/cm², the results of the hammer test plate test on the Mahakam Bridge for the entire Samarinda side obtained the value of the surface density with a compressive strength of 452.8 kg/cm² while the results of the UPV examination can be seen that the value of the density of the concrete quality on the pier is 20.4 MPa. From these results it can be concluded that the concrete quality criteria are not good enough - good enough. There is a match between the behavior of the damage caused by the collision of the head between the results of the visual inspection and the results of the behavior using FEM.

Keywords: *Concrete, Forensic, NDT*

Pendahuluan

Jembatan adalah suatu konstruksi yang digunakan untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang lebih rendah. Hambatan ini dapat berupa jalan lain (saluran air atau jalan lalu lintas normal). Perkembangan transportasi semakin erat kaitannya dengan pembangunan, baik berupa pembangunan jalan maupun jembatan, berfungsi untuk memperlancar arus kendaraan sehingga tercipta efisiensi waktu dalam beraktivitas.

Jembatan perlu dibuat cukup kuat karena kerusakan jembatan dapat mengganggu kelancaran arus lalu lintas. Namun, ini tidak berarti bahwa jembatan harus selalu dibuat lebih kuat secara berlebihan.

Untuk kesekian kalinya, Jembatan Mahakam yang menghubungkan Samarinda Kota dan Samarinda Seberang kembali dihantam ponton batu bara pada Minggu siang (29 April 2018). Kejadian ini menimbulkan kehebohan. Sebuah akun media sosial menyatakan bahwa kekuatan tabrakan menyebabkan badan jembatan bergetar. Tabrakan tersebut

menyebabkan bagian bawah Dermaga Utama 3 (P3) retak pada sisi Samarinda Kota dan Samarinda Seberang, dan dua pipa tiang pondasi mengalami deformasi.

Kegagalan struktur beton bertulang pada bangunan gedung juga dapat disebabkan oleh berbagai faktor antara lain: kesalahan konsep/desain, kesalahan pelaksanaan atau juga karena perubahan penggunaan bangunan. Dengan adanya kerusakan tersebut maka perlu dilakukan perbaikan struktur beton bertulang dengan metode perbaikan yang baik dan mudah dilakukan di lapangan. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan perkuatan struktur beton dengan material tertentu tergantung dari jenis kerusakannya (Efendi, 2017).

Jenis kerusakan lain yang biasa ditemui pada anggota struktur bangunan sipil adalah sambungan baja ke beton; Kekuatan ikatan dipengaruhi oleh kekasaran permukaan baja dan kualitas beton di sekitar tulangan. Kegagalan pengikatan menyebabkan penurunan daya dukung komponen struktural terhadap beban operasional, peningkatan deformasi dan bahkan keruntuhan struktur (Arif Soenaryo, 2009).

Untuk mengatasi hal tersebut maka dilakukan penelitian di jembatan untuk mendapatkan data penelitian. Berdasarkan data tersebut, dilakukan perbaikan dan perkuatan konstruksi jembatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi struktur dan elemen jembatan untuk memberikan rekomendasi pengelolaan kerusakan struktur jembatan yang tepat.



Gambar 1. Jembatan Mahakam dari Hulu

Metode

Metodologi pelaksanaan pemeriksaan dan pengujian jembatan secara umum diuraikan dalam tahapan sebagai berikut:

Survey Instansional, Koordinasi dan Review Dokumen

Sebelum diterima, dokumen teknik struktur pemilik jembatan harus diperhatikan. Jika perlu, data yang berasal dari dokumen tersebut harus diverifikasi dengan pemeriksaan lapangan. Sementara itu, data penting yang belum ada harus diperoleh melalui kunjungan lapangan. Dokumen struktural tersebut antara lain: 1) Dokumen dan gambar perencanaan dan 2) Dokumen dan gambar implementasi (As-built-drawing)

Pemeriksaan Visual

Inspeksi visual dilakukan pada elemen jembatan dan kondisi lingkungannya untuk mendapatkan data dan informasi tentang kondisi di lokasi. Hasil ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang jenis-jenis kerusakan jembatan dan perkiraan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Inspeksi visual dilakukan dengan memeriksa setiap elemen jembatan dengan indera penglihatan, setelah itu setiap jenis kerusakan dan lokasi kerusakan

didokumentasikan. Inspeksi visual harus menentukan jenis, jumlah kerusakan, jumlah kerusakan dan penyebab kerusakan elemen jembatan.

Pemeriksaan Khusus

Merupakan pengamatan/pemeriksaan/pengukuran yang dilakukan secara lebih teliti dan rinci serta merupakan tindak lanjut dari pengamatan kerusakan dalam pemeriksaan secara mendetail. Pemeriksaan khusus dilakukan untuk memperoleh data yang lebih akurat mengenai kerusakan yang terjadi pada elemen jembatan, khususnya elemen struktur.

Pengujian Mutu Beton (UPV Pundit Test)

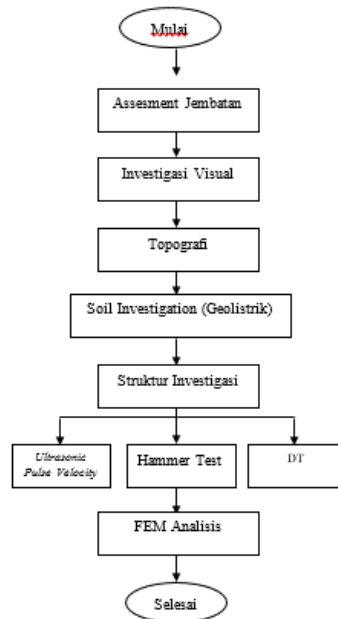
Metode pengujian yang dilakukan dengan perangkat PUNDIT dikembangkan berdasarkan prinsip bahwa kecepatan rambat gelombang melalui media padat tergantung pada sifat elastis media padat. Bila digunakan dengan baik dan benar, alat ini dapat memberikan banyak informasi tentang kondisi permukaan atau interior beton. Alat ini juga dapat memberikan informasi tidak langsung tentang nilai kuat tekan beton jika diketahui hubungan antara sifat elastis suatu benda padat dengan kuat tekannya. Alat ini pada dasarnya terdiri dari pembangkit sinyal gelombang, transduser pengirim (transmitter) dan transduser penerima (receiver). Dilengkapi juga dengan alat pengukur, alat ini mencatat waktu yang diperlukan gelombang untuk merambat dari pemancar ke penerima. Jika panjang lintasan (jarak antara pemancar dan penerima) diketahui, kecepatan yang terjadi dari perambatan gelombang dapat dihitung. Jenis transduser yang cocok untuk aplikasi pada material beton adalah transduser dengan frekuensi personal antara 20 KHz dan 150 KHz. Metode uji ultrasonik standar dapat dilihat pada BS 4408 pt.5 atau ASTM C 597 (Building Code Requirements for Structural Concrete, 2009).

Tabel 1 Kriteria Penilaian Pengujian dengan Gelombang Ultrasonik

Kecepatan Gelombang (m/s)	Kualitas Beton
> 4000	Baik
3000 – 4000	Cukup baik
< 3000	Kurang baik

Bagan Alir Audit Forensik

Bagan Alir Audit Forensik dan tahapan-tahapannya dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut (Boen, 2009):



Gambar 2. Bagan Alir Audit Forensik

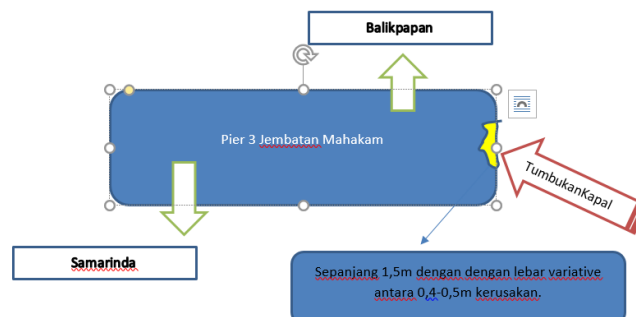
Metode Assesment

Pada saat melakukan pemeriksaan ada dua macam assesment yang dilakukan yaitu Survey Visual Lapangan dan Metode *Non Destructive Test* (NDT). Melakukan penelitian kekuatan material dengan cara menggunakan metode NDT atau sesuai dengan ASTM C805 yaitu dengan menggunakan: Ultrasonic Pulse Velocity dan Hammer Test. Dari sejumlah pengujian tersebut dilakukan permodelan dengan menggunakan FEM

Hasil

Hasil Pemeriksaan Visual

Hasil dari pemeriksaan visual dan wawancara kronologi hasil dari tumbukan cukup keras tersebut sehingga mengakibatkan kerusakan pada pada Pier 3 Jembatan Mahakam sisi hulu dengan dimensi sepanjang 1,5m dengan dengan lebar variatif antara 0,4-0,5m kerusakan. Tereksposnya tulangan struktur pier 4 akibat tumbukan kapal tongkang tersebut.



Gambar 3. Layout kronologis tumbukan kapal tongkang.



Gambar 4. Penampakan kerusakan yang terjadi.

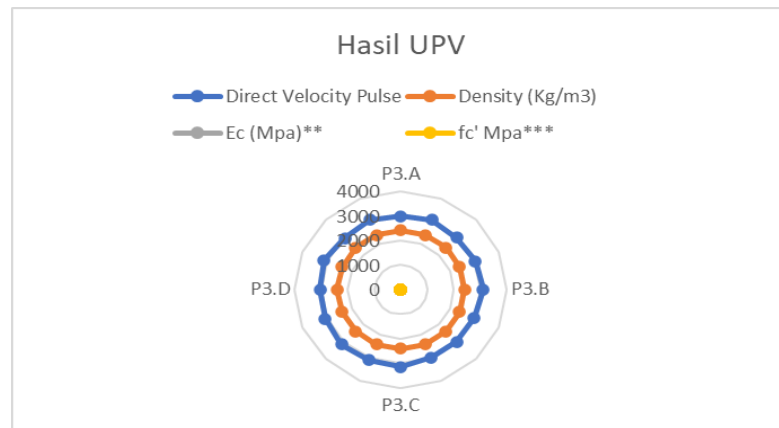
Pemeriksaan Non Destructif Test (NDT)

Setelah dilakukan survey visual maka dilakukan pemeriksaan dengan menggunakan instrument NDT untuk mendapatkan nilai parameter material paska tumbukan dan berikut ini adalah hasil analisis kerapatan beton dengan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) pada elemen pelat dan dinding jembatan (ASTM, 2009):

Tabel 2. Rekapitulasi Pengolahan Data UPV (Kecepatan Rambat Beton)

Bridge	No.	ID Sample	Element Of Structure	Direct Velocity Pulse	Density (Kg/m3)	Ec (Mpa)**	fc' Mpa***	Minimum Fc'/ Element Structure (Mpa)	Maximum Fc'/ Element Structure (Mpa)	Average Fc'/ Element Structure (Mpa)	
Mahakam	1.	1	P3.A	2993	2400	20361,12	18,77				
	2.	2		201	3076	2400	21506,06	20,94			
	3.	3		202	2987	2400	20279,57	18,62			
	4.	4		203	3045	2400	21074,77	20,11	18,62	20,94	19,61
	5.	5		204	3104	2400	21899,37	21,71			
	6.	6	205	2998	2400	20429,20	18,89				
	7.	7	206	P3.B	2985	2400	20252,42	18,57			
	8.	8	207		2994	2400	20374,73	18,79	18,57	21,71	19,49
	9.	9	208	P3.C	3150	2400	22553,26	23,03			
	10.	10	209		3098	2400	21814,79	21,54			
	11.	11	210		3154	2400	22610,57	23,14			
	12.	12	211	P3.D	3089	2400	21688,23	21,29	21,29	23,14	22,25
	13.	13	212		3048	2400	21116,31	20,19			
	14.	14	213		3122	2400	22154,09	22,22			
	15.	15	214		2970	2400	20049,39	18,20			
	16.	16	215		3063	2400	21324,66	20,59	18,20	22,22	20,30

Bridge	Type Of Structure	Average Direct Velocity [m/s]	Average Average Estimati on Fc' (Mpa)	CLASSIFICATION OF THE QUALITY OF CONCRETE ON THE BASIS OF PULSE VELOCITY*
Mahakam	Pier	3055	20,4	3000-3500 m/s Medium Condition



Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian NDT UPV

Dari hasil pemeriksaan UPV dapat diketahui bahwa nilai kerapatan mutu beton pada pier berindikasi sebesar 20,4 MPa. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kriteria mutu beton adalah kurang baik - cukup baik.

Tabel 3. Rekapitulasi Pengolahan Data Rebound Test/Hammer Test

NO	P1	P2	P3	P4	P5
<i>Hammer Test</i>	42,3	40,3	39,2	38,7	39,8
<i>Tbk</i>	302,5 kg/cm ²				

NO	P6	P7	P8	P9	P10
<i>Hammer Test</i>	39,5	37,8	41,5	41,2	40,3
<i>Tbk</i>	300,6 kg/cm ²				

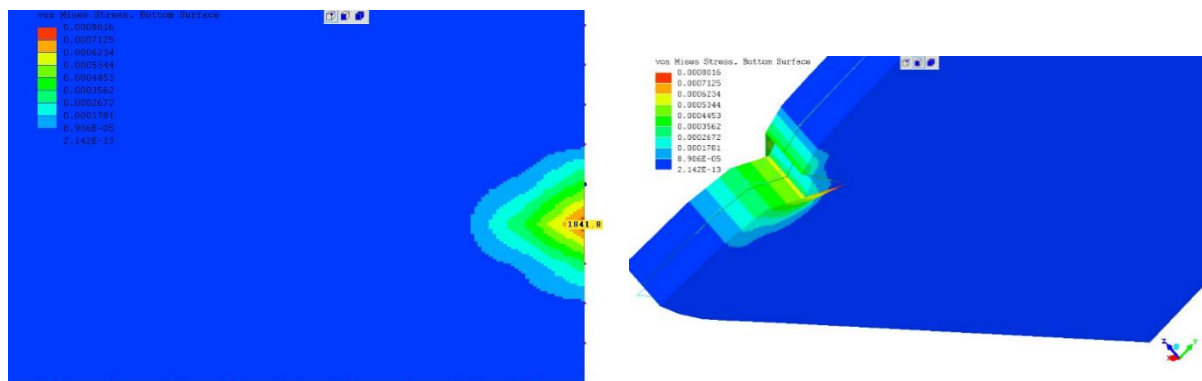
NO	P11	P12	P13	P14	P15
<i>Hammer Test</i>	37,7	37,8	41,2	41,5	40,3
<i>Tbk</i>	285,8 kg/cm ²				

Sedangkan dari hasil pemeriksaan rebound test/hammer test dapat diketahui bahwa nilai kepadatan permukaan beton pada pier 3 berindikasi sebesar 285,8-302,5 kg/cm². Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kriteria mutu beton adalah beton struktural (SNI, 2013)

Permodelan FEM

Dari hasil data pengujian tidak merusak dengan menggunakan beberapa instrumen alat NDT maka data tersebut dijadikan parameter material kondisi paska tabrak untuk memodelkan perilaku yang terjadi. Beban tumbuk kapal ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain bobot kapal dan kecepatan tumbuk kapal. Besar gaya tumbuk kapal bergantung pada energy tumbuk kapal. Energy tumbuk kapal (6349, 2000) (OCDI, 2009). Berthing energy maksimum adalah sebesar 829,17 kN.m. Berdasarkan Dokumen Basic Design, besar gaya tumbuk kapal yang diaplikasikan pada pemodelan struktur adalah sebagai berikut:

- Gaya impak/tumbuk kapal ke pier 3 : $829,17 \text{ kN} \times 110\% = 912,087 \text{ kN}$
- Material Pier Existing : Beton bertulang $f_c' 20 \text{ MPa}$ (Hasil NDT)
- Young Modulus : $23,50 \text{ kN/mm}^2$
- Poison Rasio : 0,2
- Density Beton : $24 \cdot 10^{-9} \text{ kN/mm}^3$
- Gaya impak/tumbukan yang terjadi : 950 kN



Gambar 6. Perilaku element yang terjadi pasca tabrak

Kondisi perilaku yang terjadi sama dengan hasil pemeriksaan visual dimana terjadi kerusakan permukaan hingga rompal seperti pada gambar 4.2, Pengaruh impak/tumbukan kapal pada pier 4 sepanjang 1,8418m sehingga membuat kerusakan yang sama dengan kondisi lapangan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa: 1) Dari hasil pengujian hammer test plat pada Jembatan Mahakam untuk keseluruhan sisi Balikpapan didapat nilai kepadatan permukaan dengan kuat tekan $296,3 \text{ kg/cm}^2$, 2) Dari hasil pengujian hammer test plat pada Jembatan Mahakam untuk keseluruhan sisi Samarinda didapat nilai kepadatan permukaan dengan kuat tekan $452,8 \text{ kg/cm}^2$, 3) Dari hasil pemeriksaan UPV dapat diketahui bahwa nilai kerapatan mutu beton pada pier sebesar $20,4 \text{ MPa}$. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kriteria mutu beton adalah kurang baik - cukup baik, 4) Terdapatnya kesesuaian perilaku kerusakan yang terjadi akibat tumbukan kapala antara hasil pemeriksaan visual dengan hasil perilaku menggunakan FEM.

Referensi

- Arif Soenaryo, M. H. (2009). Perbaikan Kolom Beton Bertulang menggunakan Concrete Jacketing dengan Prosentase Beban Runtuh yang Bervariasi. *Jurnal Rekayasa Sipil, Volume 3, No.2. Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.*
- ASTM. (2009). *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete C597-09.* America: ASTM.
- Boen, T. (2009). *Cara Memperbaiki Bangunan Sederhana yang Rusak Akibat Gempa.* Jakarta.
- Building Code Requirements for Structural Concrete, A. 3. (2009). *ASTM C597 – 09 Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.* USA: ACI 318 Building Code Requirements for Structural Concrete.
- Efendi, A. W. (2017). Analisis Metode Pelaksanaan Retrofitting Pada Bangunan CSF Kariangau Balikpapan. *Jurnal Penelitian Teknik Universitas Tridharma Balikpapan.*
- Nasioanal, B. S. (2021). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012.* Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Nasional, B. S. (2002). *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung SNI 1729: 2002.* Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Nasional, B. S. (2013). *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI 1727: 2013.* Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- OCDI. (2009). *Technical Standards for Port and Harbor Facilities in Japan. Japan: The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan. PIANC. 2002. Guidelines for the Design of Fender Systems.* Japan: PIANC.
- SNI, B. S. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2814:2013.* Jakarta: Hanafi, M.B.