

# EVALUASI KAPASITAS JEMBATAN SEMENTARA TIPE MODULAR BAJA DENGAN METODE UJI PEMBEBANAN (CAPACITY EVALUATION OF A TEMPORARY MODULAR STEEL BRIDGE BY LOADING TEST METHOD)

Winarputro Adi Riyono<sup>1)</sup>, Gatot Sukmara<sup>2)</sup>

<sup>1),2)</sup> Puslitbang Jalan dan Jembatan

<sup>1),2)</sup> Jl. AH Nasution 264, Bandung 40294

<sup>1)</sup> e-mail: adi\_riyono@hotmail.com,

<sup>2)</sup> e-mail: gatot.sukmara@gmail.com

Diterima: 14 Mei 2014; direvisi: 14 Juli 2014; disetujui: 07 Agustus 2014

## ABSTRAK

Makalah ini menyajikan pemeriksaan pada struktur jembatan sementara berupa Fly Over Bridge (FOB) tipe modular baja dengan menggunakan uji pembebanan statis dan dinamis. Uji statis dilakukan dengan memberikan beban kendaraan gandar majemuk pada jembatan dengan variasi muatan mulai 240 ton hingga 300 ton. Berdasarkan uji beban statis, diperoleh hasil bahwa pada kondisi pembebanan maksimum, jembatan masih berperilaku elastis linier. Tegangan maksimum yang terjadi pada serat bawah baja modular masih berada dibawah tegangan baja yang diijinkan. Terdapat lendutan sisa sebesar 71 mm pada tengah bentang jembatan oleh karena pemampatan pada segmen modular baja atau insertion link pada sambungan. Evaluasi terhadap uji beban dinamis menunjukkan bahwa dari riwayat defleksi akibat beban berjalan, diperoleh Faktor Beban Dinamis (FBD) rata-rata sebesar 1,03 dan masih sesuai dengan persyaratan perencanaan. Hal yang perlu dipertimbangkan adalah diperlukan sambungan melintang di antara segmen sehingga jembatan akan berdeformasi dalam satu kesatuan.

**Kata kunci:** jembatan sementara, modul baja, jembatan lintasan atas, uji beban statis, uji beban dinamis, faktor beban dinamis

## ABSTRACT

This paper presents a structural assessment of a temporary bridge so called steel modular Fly Over Bridge, by using loading test with static and dynamic schemes. Static test was performed by imposing the bridge using multi axle vehicle with variation of payload start from 240 tons until 300 tons. From static test, it is found that under maximum load condition, the bridge still behave linearly. The maximum stress at the bottom side is still also under the allowable steel stress. There is a residual deflection of approximately 71 mm at midspan because of contraction of the modular segment or insertion link in the connection. Evaluation of dynamic load test shows that from the history of deflection under moving truck, the average Dynamic Load Allowance (DLA) is 1.03 and still complying with the design requirements. Something important to be considered is to make a transverse connection between each side of the segment so that the bridge deformation will occur as in an integrated structure.

**Keywords:** temporary bridge, steel modular, fly over bridge, static loading test, dynamic loading test, dynamic load allowance

## PENDAHULUAN

Pada umumnya jembatan di Indonesia direncanakan untuk beban truk standar dengan beban total 50 ton sesuai standar pembebanan untuk jembatan (Indonesia 2004) maupun acuan pembebanan di negara lain (Caltrans 2004 dan AASHTO 2010). Namun, pada keadaan tertentu jembatan dapat dilalui pula oleh kendaraan dengan beban khusus seperti trafo PLN dengan beban di atas 200 ton. Salah satu solusi untuk melewati kendaraan dengan beban khusus adalah dengan membuat konstruksi jembatan sementara di atas jembatan eksisting yaitu *Fly Over Bridge (FOB)* ditunjukkan pada Gambar 1.

*Fly Over Bridge* (Rolitrans International 2010) merupakan salah satu tipe jembatan sementara yang digunakan untuk perlintasan angkutan barang dan atau peralatan berat yang beban gandarnya melebihi Jumlah Berat Bruto (JBB) maksimum yang ditentukan pada jembatan standar pada umumnya. FOB ini berfungsi sebagai jembatan khusus yang dipasang di atas jembatan eksisting, dimana pada saat melintas, beban kendaraan tidak memberikan aksi secara langsung pada struktur jembatan eksisting.

Untuk mengetahui kinerja jembatan yang mengacu pada data perencanaannya, maka perlu dilakukan pembuktian yang terukur dan terkendali baik pola pembebanan maupun syarat batas material dan struktur jembatannya. Pengujian beban pada jembatan merupakan salah satu metoda pengukuran respon struktur jembatan baik melalui uji pembebanan statis maupun uji pembebanan dinamis. Pengujian beban jembatan dilakukan dengan skema pembebanan tertentu dan mengacu pada perhitungan dan estimasi perencanaan.

Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk menganalisis kapasitas dan mengetahui kinerja FOB dengan melakukan pengujian beban dengan kombinasi beban minimal sesuai dengan beban layan rencana jembatan dan sesuai spesifikasi yang tertuang pada data perencanaan.



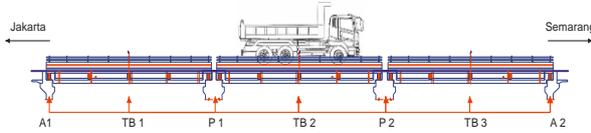
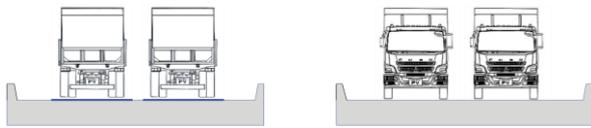
**Gambar 1.** *Fly Over Bridge (FOB)*

## KAJIAN PUSTAKA

Salah satu pembuktian kinerja jembatan baik dalam lingkup evaluasi maupun pembuktian kinerjanya menggunakan pengujian beban yaitu uji beban statis dan uji beban dinamis (Bien and Zwolski 2007).

Secara umum pelaksanaan uji pembebanan jembatan di Indonesia sudah sering dilakukan dan pelaksanaan pengujian pembebanan jembatan merupakan salah satu metoda pemeriksaan yang tertuang pada standar pemeriksaan jembatan di Indonesia yaitu *Bridge Management System (BMS 1992)*. Uji pembebanan baik statis maupun dinamis dilakukan pada jembatan bentang pendek dan jembatan bentang panjang baik untuk ruas jalan nasional, ruas jalan antar kota maupun jembatan jalan tol.

Sebagai contoh pada uji pembebanan yang dilakukan Jembatan Ciberes pada ruas jalan Pantura KM CRB 23+640, Cirebon – Losari (Pusjatan 2010 dan Hostinova, *et al.* 2008). Uji pembebanan statis dilakukan dengan menggunakan 2 buah truk dengan konfigurasi beban simetris pada bentang jembatan (Gambar 2.a) untuk mendapatkan respon lendutan pada bentang jembatan yang diuji dan uji pembebanan dinamis dengan menggunakan eksitasi beban kendaraan yang melintas di atas lantai jembatan untuk mendapatkan frekuensi alami struktur jembatan (Gambar 2.b).



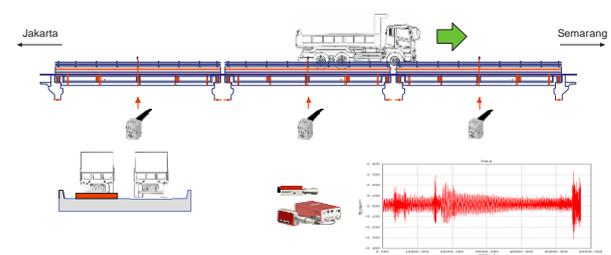
**Gambar 2.a.** Uji pembebanan statis pada Jembatan Ciberes

Pengolahan data perekaman dinamis menghasilkan nilai Faktor Pembesaran Dinamis (Brady, S., et al. 2006) *Dynamic Load Allowance (DLA)* dan dengan melakukan *curve fitting* dari data respon dinamis akan mengindikasikan sifat elastis bahan yang terbebani (*reversible*).

Faktor beban dinamik (*DLA*) berlaku pada beban “KEL”, beban lajur “D”, dan beban truk “T” untuk simulasi kejut dari kendaraan bergerak pada struktur jembatan. Faktor beban dinamik adalah untuk SLS dan ULS dan untuk semua bagian struktur sampai pondasi. Untuk beban truk “T” nilai *DLA* adalah 0,3, untuk beban garis “KEL” nilai *DLA* dapat dilihat pada Tabel 1 berikut (BMS, 1992) dimana  $L_E$  adalah panjang

aktual untuk bentang sederhana dan untuk bentang menerus mengikuti Rumus 1.

$$L_E = \sqrt{L_{rata-rata} \cdot L_{maks}} \quad \dots \dots \dots (1)$$



**Gambar 2.b.** Uji pembebanan dinamis

**Tabel 1.** Nilai *DLA* berdasarkan panjang bentang  $L_E$

Bentang Ekuivalen $L_E$ (m)	<i>DLA</i> (untuk kedua keadaan batas)
$L_E < 50$	0,4
$50 < L_E < 90$	$0,525 - 0,0025 L_E$
$L_E \geq 90$	0,3

### HIPOTESIS

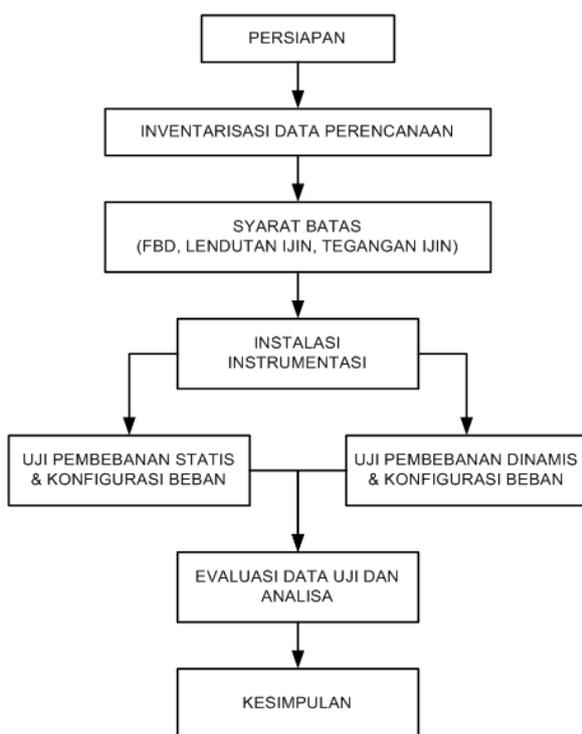
Kapasitas layan jembatan ditentukan oleh besarnya interaksi beban sesuai dengan standar perencanaan dan FOB mempunyai kapasitas untuk dilalui beban sesuai dengan beban standar perencanaan dan dapat digunakan sebagai jembatan sementara perlintasan beban luar biasa.

### METODOLOGI

Sebagai fungsi jembatan sementara yang digunakan untuk melintaskan beban di atas beban standar jalan raya, maka perlu diketahui baik cara instalasi dan kapasitas dari struktur jembatan FOB agar dapat menahan beban

berlebih melintas di atas jembatan lama. Pengumpulan data teknis jembatan sebagai pada saat perencanaan perlu dilakukan sebelum dilakukan uji pembebanan.

Dari data teknis perencanaan dan syarat batas kinerja struktur pada perencanaan, perilaku dan respon struktur jembatan FOB dapat diketahui dengan melakukan pengujian jembatan yang telah dilaksanakan pada tanggal 9 sampai dengan 11 September 2011, di lokasi Kawasan Berikat Nusantara (KBN) Marunda, Jakarta Utara maka metodologi yang digunakan dijelaskan seperti pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Diagram alir metodologi

Gambar 4 menunjukkan profil memanjang dan denah FOB. Terlihat bahwa jembatan tersebut memiliki 6 buah segmen utama dan 2 segmen *ramp*. Sistem strukturnya yaitu berupa modular baja dengan perletakan sederhana dimana di satu sisi bersifat sendi dan di sisi lainnya bersifat rol. Panjang jembatan yaitu terdiri dari 32,28 m pada bentang utama dan 12,02 m pada segmen *ramp*. Jembatan memiliki lebar total 3,7 m.

Pengujian beban statis dilakukan untuk mengetahui respon pembebanan terhadap parameter lendutan statis segmen FOB akibat

beban 26,8 ton (truk), beban 240 ton, dan beban 300 ton.

Pengukuran lendutan dilakukan dengan menggunakan alat *total station* dan *deflectometer*. Di samping pembacaan lendutan juga dilakukan pula pembacaan regangan pada serat bawah struktur.

Batasan lendutan yaitu hingga serat bawah menyentuh lantai eksisting. Tahapan pengujian beban statis yaitu berturut-turut; kondisi FOB tanpa beban (inisial), beban 1 truk; *unloading*; beban truk + *multi axle* 240 ton (roda 4 pada *centerline* FOB); beban truk + *multi axle* 240 ton (roda 6 pada *centerline* FOB); beban truk + *multi axle* 300 ton (roda 6 pada *centerline* FOB); *unloading*.

Konfigurasi pembebanan dapat dilihat pada Gambar 5. Selanjutnya pengujian dinamis (vibrasi) dilakukan dengan menggunakan bantuan truk dengan pembebanan tertentu (Farrar, *et al.* 1999).

Pengujian dinamis dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan antara Faktor Beban Dinamis (FBD) desain terhadap aktual. FBD dapat dicari dengan melihat pembesaran respon dinamik struktur terhadap respon rata-ratanya sesuai dengan Persamaan 2 (Paultre, P. *et al.* 1992).

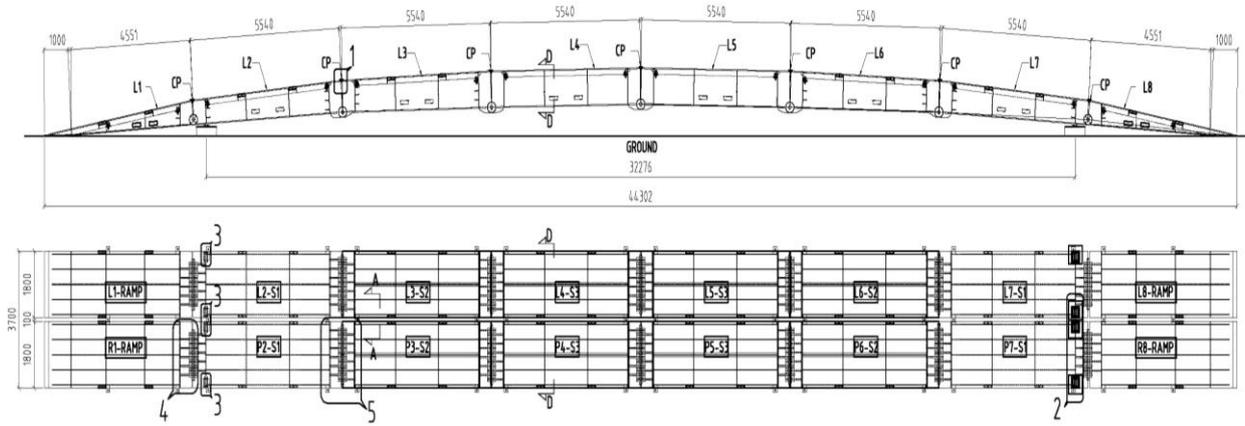
$$FBD = R_{dyn} / R_{sta} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

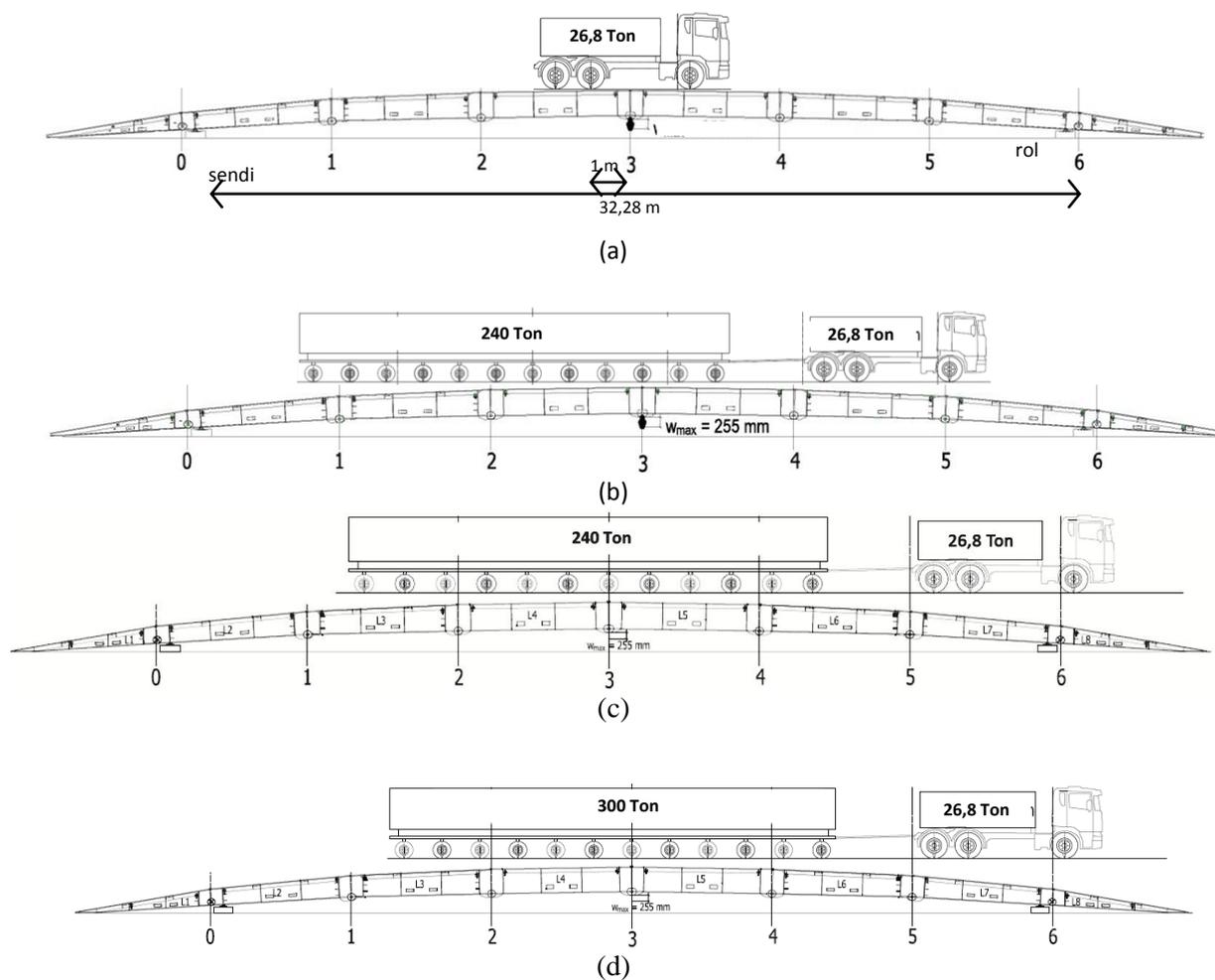
$R_{dyn}$  = respon dinamis

$R_{sta}$  = respon rata-rata

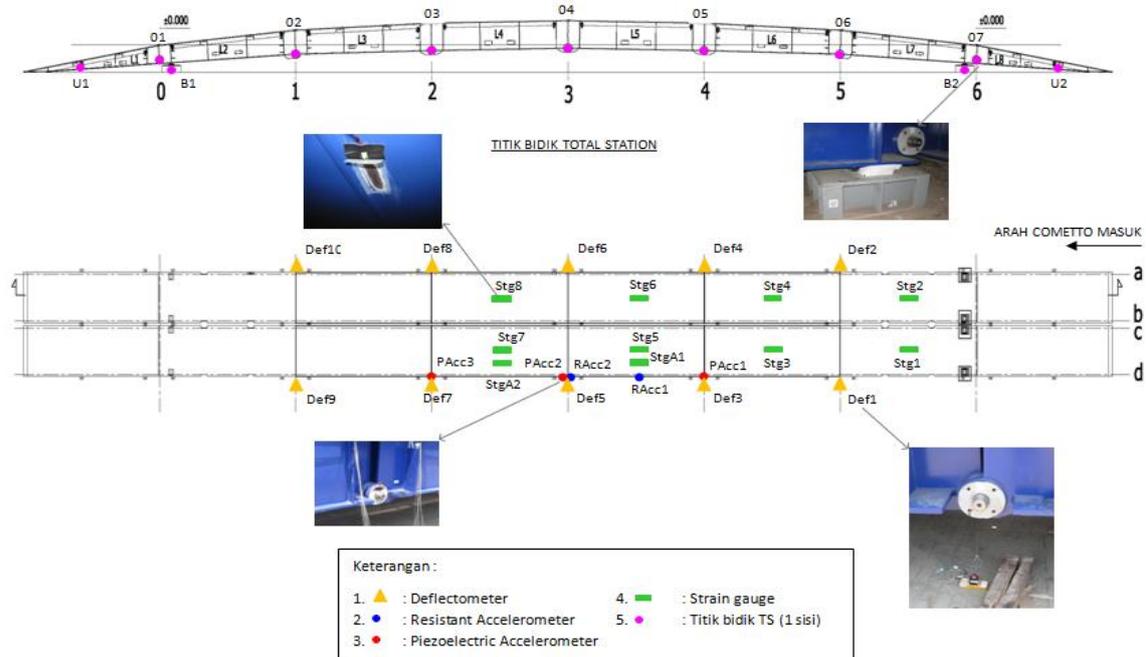
Pada uji pembebanan ini, digunakan beberapa instrumen pengukuran yaitu *strain gauge* 10 buah, *deflectometer* 10 buah, *total station* 1 buah, dan *accelerometer* 5 buah. Titik bidik dan penempatan sensor pada FOB dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 4.** Profil memanjang dan denah FOB (Rolitrans, PT. 2010)



**Gambar 5.** Konfigurasi pembebanan: (a) truk 26,8 ton, (b) 240 ton (roda 4 pada *centerline* FOB), (c) 240 ton (roda 6 pada *centerline* FOB), (d) 300 ton (roda 6 pada *centerline* FOB)



Gambar 6. Titik referensi lendutan dan penempatan sensor

## HASIL DAN ANALISIS

### Kelengkungan jembatan (*Camber*)

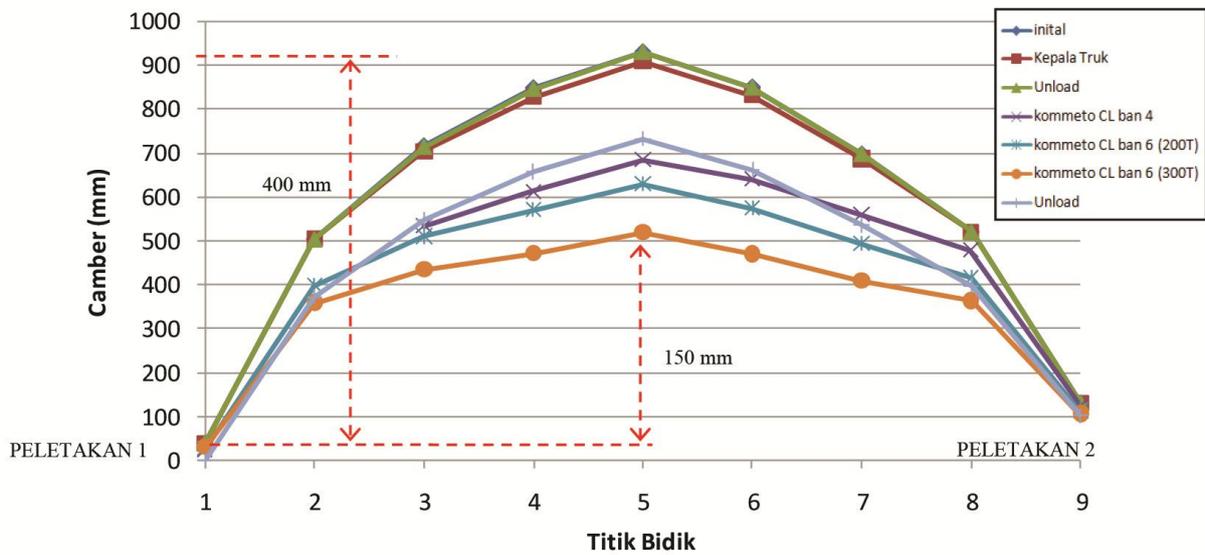
Hasil pembacaan pengukuran geometri kelengkungan jembatan (*camber*) pada FOB untuk tiap-tiap konfigurasi pembebanan dapat dilihat pada Gambar 5 diperoleh data hasil pengukuran *camber* seperti dijelaskan pada Gambar 7. Hasil pengukuran kelengkungan jembatan (*camber*) menunjukkan bahwa akibat berat sendiri, FOB memiliki *camber* inisial sebesar maksimum 400 mm diukur dari pada elevasi pin penyambung segmen di tengah bentang. Pada peningkatan beban uji dengan dari kombinasi pembebanan yang diberikan maka geometri kelengkungan jembatan (*camber*) mengecil dengan nilai maksimum pengukuran deformasi sampai dengan 150 mm pada tengah bentang pada pembebanan 300 ton.

### Lendutan

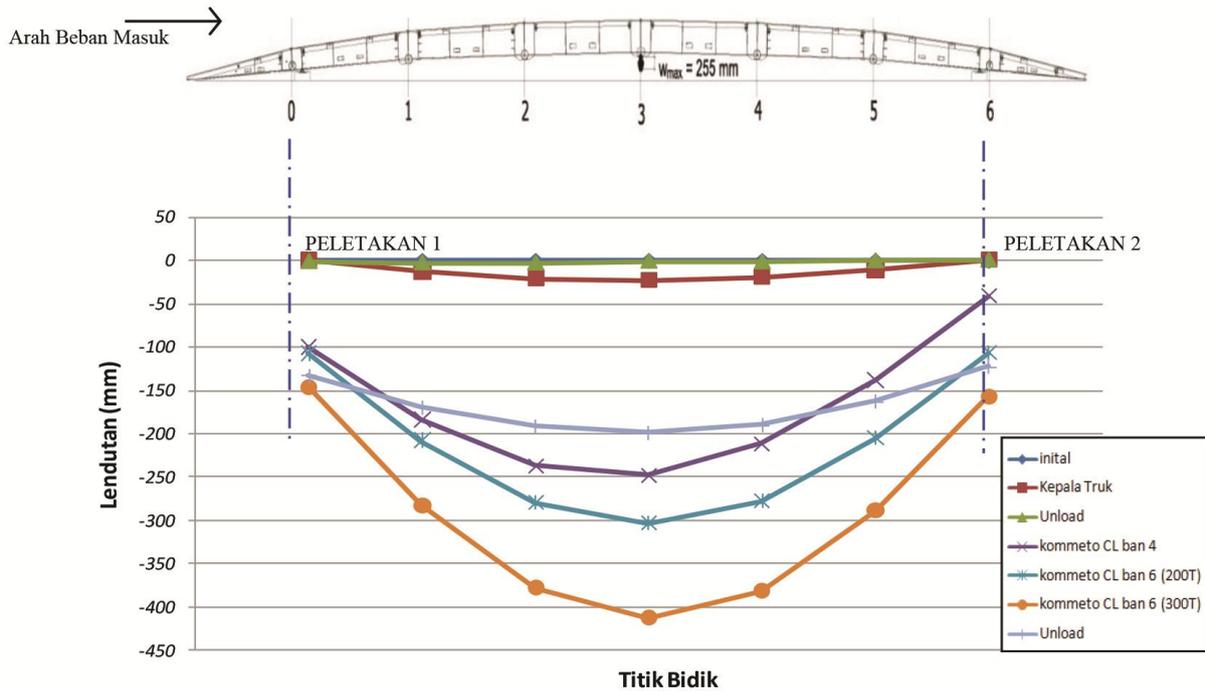
Gambar 8 menunjukkan defleksi yang terjadi pada struktur FOB dari hasil pengukuran sebelum dikoreksi terhadap penurunan tumpuan dari bentang struktur FOB dengan menggunakan alat *Total Station*. Defleksi tersebut adalah defleksi total akibat pembebanan dan penurunan perletakan pada FOB. Untuk mengetahui defleksi yang sesungguhnya (tanpa pengaruh penurunan) maka perlu dilakukan koreksi geometri.

Setelah dilakukan koreksi terhadap penurunan tumpuan diperoleh hasil defleksi yang terjadi pada struktur FOB seperti yang dijelaskan pada Gambar 9 dimana terdapat deformasi lendutan sisa dengan nilai maksimum sebesar 71 mm pada tengah bentang.

Dari data pengukuran dengan menggunakan deflectometer diperoleh besarnya lendutan akibat kombinasi pembebanan seperti dijelaskan pada Tabel 1.



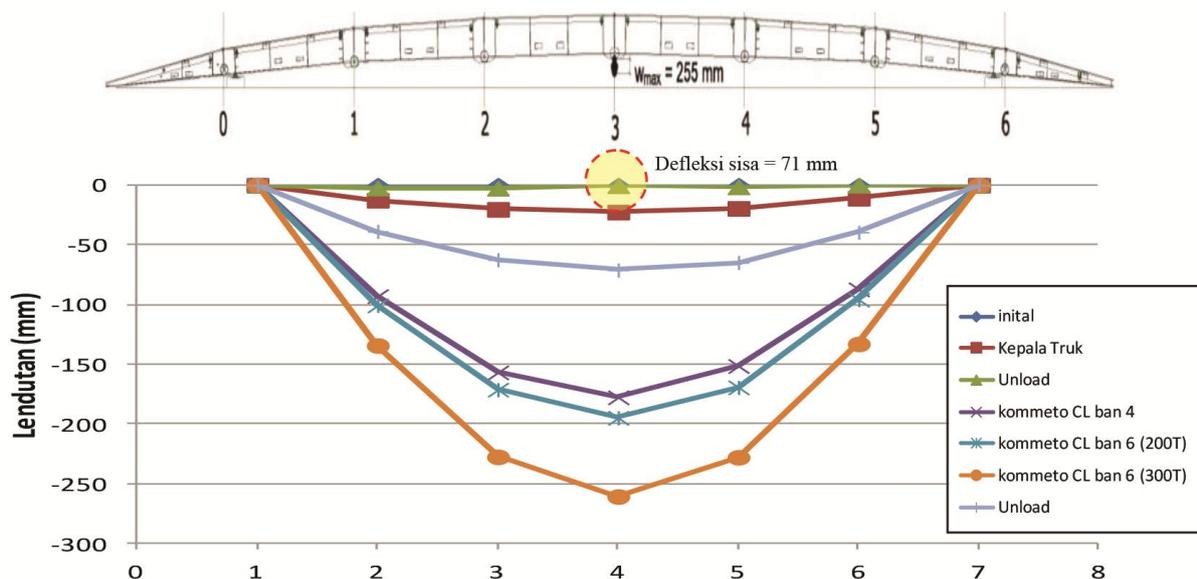
Gambar 7. Hasil pembacaan geometri kelengkungan (*camber*) jembatan



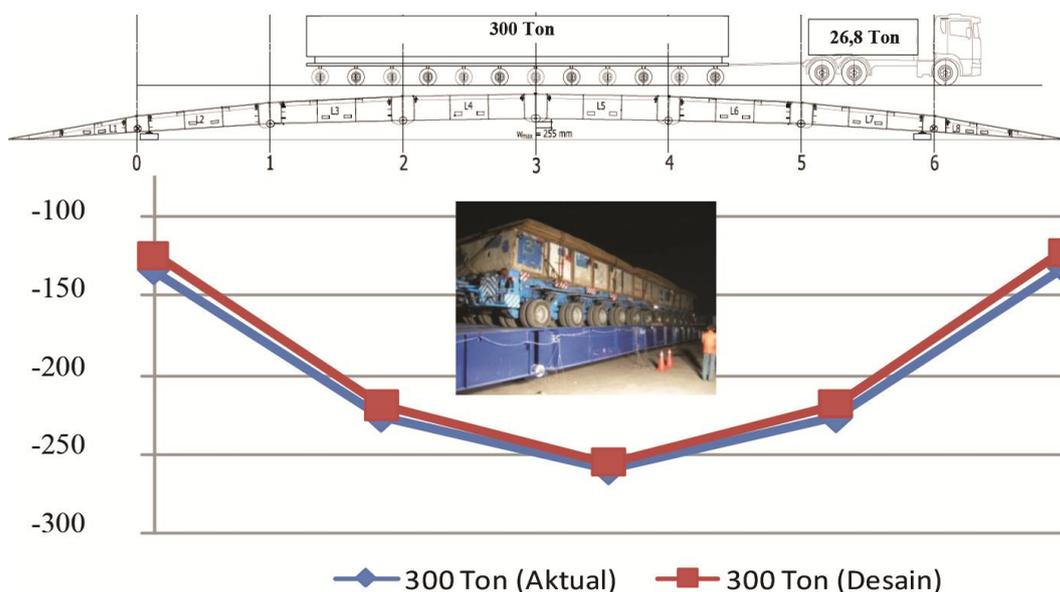
Gambar 8. Hasil pembacaan lendutan sebelum dikoreksi terhadap penurunan

Tabel 1. Lendutan FOB antara hasil bacaan *deflectometer* dan desain (mm)

1. Lendutan pada Bentang Utama (beban 300 ton)					
Aktual	-124	-211	-230	-201	-124
Desain	-124	-219	-255	-218	-122



Gambar 9. Lendutan FOB setelah dikoreksi terhadap penurunan (TS)



Gambar 10. Perbandingan lendutan aktual dan desain akibat pembebanan 300 ton

### Regangan

Dari hasil pengukuran regangan akibat kombinasi pembebanan pada saat pengujian diperoleh data hasil uji seperti dijelaskan pada rekap hasil pembacaan regangan pada Tabel 2. Pembacaan nilai pengukuran regangan yang diperoleh dari sensor regangan (*strain gauge*) tidak dipengaruhi oleh adanya penurunan pondasi yang terjadi di lapangan. Hubungan kombinasi beban uji dan regangan yang terukur dapat dievaluasi menjadi hubungan beban uji

dan tegangan dimana akan mengacu pada sifat material bahan baja yang digunakan.

### Faktor Beban Dinamis

Faktor Beban Dinamis (FBD) untuk uji pembebanan dinamis struktur FOB diperoleh dengan mengukur parameter dinamis yang menggambarkan pembesaran respon jembatan akibat adanya beban bergerak di atas struktur FOB dengan kecepatan antara 2 km/jam sampai

dengan 5 km/jam agar nilai pembesaran dinamis mendekati nilai perilaku statis struktur jembatan.

Data hasil pengukuran diperoleh dengan melakukan pengukuran sebanyak 3 kali truk melintas dengan kecepatan 5 km/jam di atas jembatan dimana hasil pengukuran akan di evaluasi sebagai nilai rata-rata respon dinamis struktur FOB terhadap beban bergerak. Respon struktur terhadap beban dinamis diperlihatkan dari perubahan nilai regangan dinamis pada saat truck melintas di atas struktur FOB seperti dijelaskan pada Gambar 11.

### Frekuensi struktur ( $f_n$ )

Frekuensi alami struktur diperoleh dengan menggunakan pengukuran riwayat akselerasi

pada saat kendaraan melintas di atas struktur FOB dimana riwayat akselerasi struktur ditransformasi menjadi riwayat waktu berdasarkan frekuensi secara numerik menggunakan transformasi *Fourier* (Lombaert and Conte 2012) Pada pengujian ini frekuensi diperoleh secara langsung dengan menggunakan alat perekam respon dinamik saat struktur bergetar secara alami akibat pengaruh getaran lingkungan. Sebagai contoh Gambar 12 menunjukkan riwayat percepatan kondisi *ambient*. Dari hasil pengujian diperoleh frekuensi struktur FOB sebesar 2,64 Hz dan Frekuensi merupakan nilai frekuensi alami dari struktur FOB.

**Tabel 2.** Riwayat regangan serat bawah akibat beban truk (a) dan *multi axle vehicle* (b)

#### a. Riwayat regangan *single truck* ( $\mu$ strain)

Kombinasi	Segmen 1		Segmen 2		Segmen 3		Segmen 4	
	<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>
Inisial	0	<i>Unread</i>	0	0	0	0	0	<i>Unread</i>
Truk	10		45	89	74	84	83	
<i>Unload</i>	4		-6	7	4	-4	12	

Catatan: STG2 dan STG8 tidak terbaca (*unread*)

#### b. Riwayat regangan *multi axle* ( $\mu$ strain)

Kombinasi	Segmen 1		Segmen 2		Segmen 3		Segmen 4	
	<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>
Inisial	0	<i>Unread</i>	0	0	0	0	0	<i>Unread</i>
Cometto tire (240T)	195		546	358	763	659	739	
Cometto tire (300T)	265		673	561	941	885	899	
<i>Unload</i>	15		41	-66	143	-84	132	

Catatan: STG2 dan STG8 tidak terbaca (*unread*)

**Tabel 3.** Riwayat tegangan serat bawah akibat beban truk (a) dan *multi axle vehicle* (b)

#### a. Riwayat tegangan *single truck* (MPa)

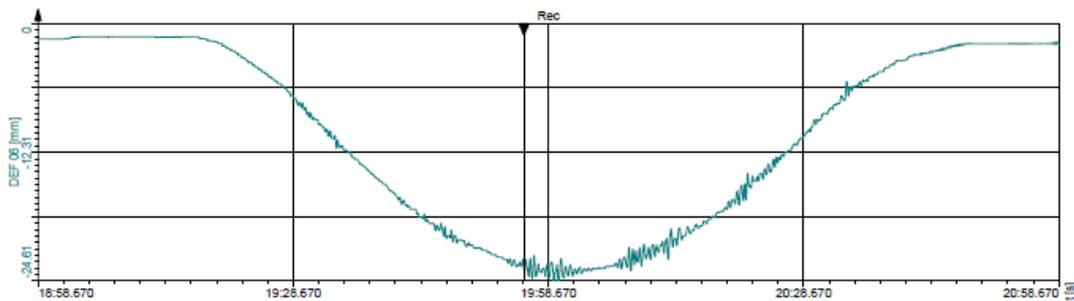
Kombinasi	Segmen 1		Segmen 2		Segmen 3		Segmen 4	
	<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>
Inisial	0	<i>Unread</i>	0	0	0	0	0	<i>Unread</i>
Truk	2		9	17.8	14.8	16.8	16.6	
<i>Unload</i>	0.8		-1.2	1.4	0.8	-0.8	2.4	

b. Riwayat tegangan *multi axle* (MPa)

Kombinasi	Segmen 1		Segmen 2		Segmen 3		Segmen 4	
	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right
Inisial	0		0	0	0	0	0	
Cometto tire (240T)	39	Unread	109.2	71.6	152.6	131.8	147.8	Unread
Cometto tire (300T)	53		134.6	112.2	188.2	177	179.8	
Unload	3		8.2	-13.2	28.6	-16.8	26.4	

**Tabel 4.** Angka keamanan elemen FOB akibat pembebanan

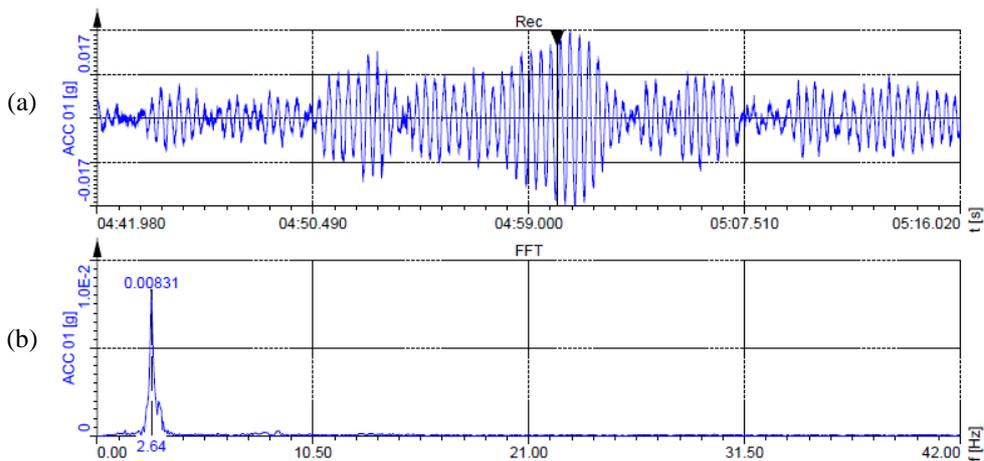
Kombinasi	Segmen 1		Segmen 2		Segmen 3		Segmen 4		Tegangan ijin (MPa)
	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	
Inisial	0		0	0	0	0	0		216
Truk	2	Unread	24.00	12.13	14.59	12.86	13.01	Unread	
Cometto tire (240T)	39		1.98	3.02	1.42	1.64	1.46		
Cometto tire (300T)	53		1.60	1.93	1.15	1.22	1.20		



**Gambar 11.** Riwayat defleksi saat kondisi truk memasuki FOB

**Tabel 5.** Faktor Beban Dinamis (FBD) untuk tiap kondisi pembebanan

Kondisi	R <sub>statis</sub> (mm)	R <sub>dinamis</sub> (mm)	FBD <sub>aktual</sub>	FBD <sub>desain</sub>
Truk masuk 1	23.60	24.50	1.038	
Truk masuk 2	54.25	56.18	1.036	1.1
Truk masuk 3	30.74	31.77	1.034	



**Gambar 12.** Riwayat akselerasi pada FOB akibat beban berjalan (a) dan frekuensi hasil transformasi Fourier.

## PEMBAHASAN

Dari data geometri perencanaan struktur FOB diketahui bahwa celah sambungan antar segmen panel struktur FOB diisi dengan menggunakan pelat pengisi (*filler plate*). Dengan beban perencanaan sebesar 300 ton struktur mempunyai sifat elastis, hal ini diperlihatkan dari mekanisme kembalinya geometri kelengkungan jembatan pada saat beban keluar dari struktur FOB. Tingkat deformasi elastis struktur memiliki deformasi lendutan sisa dengan nilai maksimum sebesar 71 mm pada tengah bentang yang diakibatkan oleh pemampatan material baja dan distribusi tegangan pada hubungan antar baja (*filler dan pin*) modular struktur FOB yaitu sebesar 11 % dari hasil pengukuran menggunakan sensor deflectometer dengan adanya pengaruh penurunan peletakan atau tumpuan pada tanah dasar di lokasi pengujian.

Lendutan maksimum yang diijinkan akibat beban 300 ton pada struktur FOB dari data perencanaan adalah 255 mm. Dari hasil evaluasi pengukuran diketahui lendutan yang terjadi akibat beban 300 ton sebesar 260mm. Nilai tersebut mempunyai selisih sebesar 2% lebih besar dari data perencanaan dimana ketelitian dipengaruhi oleh kondisi penurunan pondasi pada peletakan.

Dari data pengukuran berdasarkan hasil pengukuran yang tidak dipengaruhi penurunan pondasi diketahui nilai regangan maksimum pada tengah bentang struktur yaitu sebesar 941  $\mu$ strain terjadi pada STG-5 akibat pembebanan 300 ton. Riwayat regangan juga menunjukkan bahwa serat bawah struktur berperilaku elastis.

Mengacu pada data desain perencanaan mutu baja yang digunakan pada struktur FOB yaitu material baja SM 490 ( $f_y = 324$  MPa,  $f_u = 490$  MPa) dapat dievaluasi besarnya tegangan yang terjadi pada saat uji beban di lapangan. Besarnya tegangan yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$\sigma_{ukur} = E \times \varepsilon$$

$$\sigma_{ukur} = 200000 \text{ MPa} \times 941 \mu\text{strain}$$

$$\sigma_{ukur} = 188,2 \text{ MPa}$$

Sedangkan,

$$\sigma_{ijin} = 0,667 f_y$$

$$\sigma_{ijin} = 0,667(324) \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ijin} = 216 \text{ MPa}$$

Dari perhitungan di atas tegangan yang terjadi masih sesuai dengan tegangan ijin baja pada perencanaan struktur FOB. Untuk tegangan pada lokasi lainnya dapat dilihat pada Tabel 3 dan secara umum tegangan baja pada serat bawah FOB masih berada dalam rentang elastis terhadap pembebanan rencana hingga 300 ton dan berdasarkan riwayat tegangan diperoleh angka keamanan seperti dijelaskan pada Tabel 4, dimana diperoleh angka keamanan untuk kombinasi beban maksimum sebesar 1,15.

Dari riwayat pengukuran defleksi yang terjadi dengan menggunakan beban truk melintas struktur FOB diketahui FBD dapat dicari dengan membandingkan lendutan dinamis dan lendutan statis. Rekap FBD untuk kondisi beban lain dapat dilihat pada Tabel 5. Mengacu pada nilai FBD pada perencanaan, nilai FBD masih berada dibawah desain sehingga sesuai dengan kriteria desainnya dan lebih kecil dari 1,1. Perhitungan nilai FBD dijelaskan pada perhitungan berikut:

$$R_{dynamic} = 24.50 \text{ mm}$$

$$R_{static} = 23.60 \text{ mm}$$

$$FBD = R_{dynamic} / R_{static} = 1,038 < 1,1$$

Dari evaluasi hasil pengujian dinamis struktur diperoleh frekuensi struktur FOB sebesar 2,64 Hz dan frekuensi tersebut merupakan nilai frekuensi alami dari struktur FOB.

Dari hasil evaluasi tersebut secara umum struktur FOB memenuhi semua yang dijelaskan pada kriteria perencanaan seperti yang dijelaskan pada lampiran struktur FOB.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Struktur FOB memenuhi ketentuan desain dengan lendutan maksimum akibat beban 300 ton sebesar 260 mm (masih terdapat *camber*).

2. Pada saat *unloading* terdapat lendutan sisa hingga maksimum 71 mm akibat pemampatan modular baja atau *insertion link* pada sambungan.
3. Pemeriksaan tegangan pada elemen baja menunjukkan bahwa tegangan serat bawah modular seperti pada lokasi pengukuran masih berada dalam batas tegangan ijin baja dengan angka keamanan akibat pembebanan maksimum 300 ton sebesar 1,15.
4. Faktor Beban Dinamis hasil pengukuran rata-rata sebesar 1,03 dari sampel pengukuran pembebanan. Nilai tersebut masih berada dibawah dengan FBD maksimum perencanaan yaitu 1,1.

#### Saran

1. Penggunaan kendaraan pengangkut (*Cometo*) dengan *multi axle* sangat diperlukan untuk memberikan distribusi beban yang merata pada bentang jembatan *Fly Over Bridge*.
2. Perlu adanya integrasi antara kedua sisi jalur modul FOB agar distribusi tegangan dan deformasi tidak mempunyai distribusi dengan perbedaan yang cukup signifikan.
3. Untuk mengurangi besarnya pembesaran dinamis yang terjadi pada saat penggunaan struktur FOB, maka frekuensi kendaraan pada saat melintas tidak menghasilkan yang sama dengan frekuensi alami struktur FOB.

#### DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials. 2010. *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*. 5th Ed., AASHTO: Washington D.C.
- Bien, Jan, and Jaroslaw Zwolski. 2007. "Dynamic Tests In Bridge Monitoring - Systematics and Applications". *IMAC-XXV: Conference & Exposition On Structural Dynamics*. Wroclaw: Wroclaw University of Technology, 50-370.
- Brady, S., O'Brien, E., and Žnidarič, A. 2006. "Effect of Vehicle Velocity on the Dynamic Amplification of a Vehicle Crossing a Simply Supported Bridge". *Journal of Bridge Engineering*. 11(2), 241–249.
- California Department of Transportation . 2004. *Bridge Design Specifications*. California: Caltrans.
- Farrar, C.R., et al. 1999. "Excitation Methods for Bridge Structures", *17th International Modal Analysis Conference*. Los Alamos: Dept. of Mechanical Engineering
- Hostinova, et al. 2009. "Loading Test of the New Bridge Over the Danube in Bratislava". *Proceedings of 4<sup>th</sup> International Conference on Engineering Surveying*. Bratislava.
- Indonesia. Kementerian PU. 2004. *Standar Pembebanan untuk Jembatan RSNI*. Jakarta: Kementerian PU.
- \_\_\_\_\_. Kementerian PU. Puslitbang Jalan dan Jembatan. 2010. *Pemeriksaan Jembatan Ciberes-Gebang: Laporan pemeriksaan. Puslitbang Jalan dan Jembatan*. Bandung: Pusjatan.
- Lombaert, G. and Conte, J. 2012. "Random Vibration Analysis of Dynamic Vehicle-Bridge Interaction Due to Road Unevenness" *ASCE Journal Of Engineering Mechanics*, 138(7), 816–825.
- Paultre, P. Chaallal, O. Proulx, J. 1992. "Bridge dynamics and dynamic amplification factor-a review of analytical and experimental findings". *Canadian Journal of Civil Engineering*. 19 : 260-278.
- Rolitrans International, PT. 2010. *Laporan Akhir Uji Beban Fly Over Bridge (FOB), Balai Jembatan*. Bandung: Pusjatan.

# LAMPIRAN SPESIFIKASI DESAIN STRUKTUR FOB

