

# ANALISIS UJI BEBAN KENDARAAN TERHADAP JEMBATAN INTEGRAL PENUH (LOADING TEST ANALYSIS OF FULL INTEGRAL BRIDGE)

N. Retno Setiati<sup>1)</sup>, Anton Surviyanto<sup>2)</sup>

<sup>1), 2)</sup> Pusat Litbang Jalan dan Jembatan

<sup>1), 2)</sup> Jalan A.H. Nasution No. 264 Bandung

e-mail: <sup>1)</sup> retno.setiati@pusjatan.pu.go.id; <sup>2)</sup> anton.surviyanto@pusjatan.pu.go.id

Diterima: 06 Oktober 2013; direvisi: 21 Oktober 2013; disetujui: 02 Desember 2013

## ABSTRAK

Jembatan integral penuh Sinapeul dibuat untuk menggantikan jembatan lama yang sudah tidak berfungsi. Penggunaan sistem integral pada jembatan ini dimaksudkan untuk mengurangi biaya pemeliharaan dan perawatan jembatan, karena tanpa menggunakan sistem perletakan dan siar muai. Makalah ini membahas tentang analisis dan hasil evaluasi struktur jembatan sederhana gelagar beton bertulang akibat pembebanan kendaraan berat (truk) pada jembatan Sinapeul. Pengukuran regangan dan lendutan untuk berbagai lokasi dalam satu bentang akibat konfigurasi beban truk dianalisis untuk mengevaluasi perilaku distribusi beban kendaraan yang melewati jembatan tersebut. Pembebanan statis dilakukan dengan menempatkan beberapa kendaraan truk yang terukur dimensi dan beban dari setiap rodanya untuk melihat besarnya momen lapangan yang terjadi pada tengah bentang dan momen pada ujung jembatan. Lendutan dinamis diperoleh dengan melakukan bacaan lendutan akibat beban yang bergerak. Beban bergerak yang dimaksud adalah beban truk yang bergerak maupun beban lalu-lintas bebas. Berdasarkan hasil uji beban statis dan dinamis pada struktur jembatan Sinapeul, akibat pembebanan konfigurasi simetris, tegangan maksimum yang terjadi pada baja tulangan sebesar 33,8 MPa dengan beban 4 truk. Sedangkan akibat pembebanan konfigurasi asimetris, tegangan maksimum yang terjadi pada tulangan sebesar 28 MPa dengan beban 3 truk, maka dapat disimpulkan tegangan terjadi masih kecil dari tegangan leleh baja tulangan 267 MPa. Tegangan maksimum yang terjadi di permukaan beton serat bawah untuk kombinasi simetris sebesar 1,22 MPa dan untuk kombinasi asimetris sebesar 1,84 MPa, tegangan tersebut masih kecil bila dibandingkan dengan tegangan izin tarik beton sebesar 4 MPa. Akibat pembebanan konfigurasi simetris, lendutan maksimum yang terjadi pada tengah bentang sebesar 1,31 mm dengan beban 4 truk. Sedangkan akibat pembebanan konfigurasi asimetris, lendutan maksimum yang terjadi pada tengah bentang sebesar 0,66 mm dengan beban 3 truk, nilai tersebut masih kecil bila dibandingkan dengan nilai persyaratan lendutan izin ( $L/800$ ) sebesar 25 mm. Dari hasil pengukuran regangan dinamis pada baja tulangan, memiliki faktor beban dinamis (Dynamic Load Allowance-DLA) sebesar 1,25 nilai tersebut lebih kecil bila dibandingkan dengan faktor beban dinamis pembebanan jembatan sebesar 1,4. Pergerakan horizontal maksimum jembatan sebesar 2,5 mm dan selisih perbandingan antara perpindahan antara abutment 1 arah Sumedang dengan timbunan ringan dan abutment 2 arah Subang dengan timbunan tanah biasa rotasi maksimum sebesar 0,000483 rad (0,028 derajat). Dapat disimpulkan bahwa beberapa lokasi pengamatan menunjukkan perilaku distribusi beban yang sama. Sebagaimana ditentukan dari regangan yang diukur dalam gelagar, distribusi sebenarnya dari beban yang diterapkan dalam setiap lokasi pengamatan secara umum sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam Spesifikasi AASHTO.

**Kata kunci:** uji beban, integral penuh, statis, dinamis, distribusi beban, konfigurasi kendaraan, regangan, lendutan

## ABSTRACT

Sinapeul Full integral bridge of was made to replace the old bridge which is already not functional. The use of integral systems on the bridge is intended to reduce the cost of bridge maintenance, because of unused expansion joint system. This paper presents the results of the analysis and evaluation of the structure of

reinforced concrete girder bridge from a structural load test performed on Sinapeul bridge. The measured strains and deflections from various locations span load configurations were analyzed for evaluating load distribution behavior. Static loads were applied using loaded dump trucks to generate specific positive and negative lane bending moments. Dynamic deflection was obtained by reading the deflection due to moving load. Moving load is the both load of the moving truck and free traffic load. Based on the results from the static and dynamic load test of bridge structure, it is concluded that bridge structure exhibit similar load distribution behavior. As a result of the imposition of symmetric configurations, the maximum stress of reinforcing steel for the load of 4 trucks is 33,8 MPa. Meanwhile, due to the imposition of asymmetric configuration, the maximum stress occurs at the rate of 28 MPa, with 3 truck loads, the stress occurs is still smaller than allowable stress of steel reinforcement of 267 MPa. The maximum stress that occurs for bottom fiber concrete is 1,22 MPa for symmetric combination and asymmetric combination is 1,84 MPa, the stress is still small when compared to the tensile allowable stress of concrete of 4 MPa. As a result of the imposition of symmetric configurations, the maximum deflection occurred at the middle span is 1,31 mm when loaded by 4 trucks. Meanwhile, due to the imposition of asymmetric configuration, the maximum deflection occurred at the middle span is 0,66 mm with 3 truck loads, the value is still small when compared to the value of permit requirements deflection ( $L/800$ ) by 25 mm. From the results of dynamic strain measurements on reinforcing steel, the dynamic load factor (Dynamic Load Allowance - DLA) value is 1,25 smaller than the dynamic load factor of 1.4 for the bridge loading. The maximum horizontal movement of the bridge is 2,5 mm and a comparison of the displacement between the abutment 1 and abutment 2 with a maximum rotation is  $4,83E - 04$  rad (28 degrees). It can be concluded that observed locations showed the same load distribution behavior. As determined from the measured strain response in the beams, the actual distribution of the applied loads within each span in general conforms with the provisions contained in the AASHTO Specifications.

**Keywords:** loading test, full integral, static, dynamic, load distribution, vehicle configuration, strain, deflection

## PENDAHULUAN

Jembatan integral penuh Sinapeul dibuat untuk menggantikan jembatan lama yang sudah tidak berfungsi. Penggunaan sistem integral pada jembatan ini dimaksudkan untuk mengurangi biaya pemeliharaan dan perawatan jembatan, karena tanpa menggunakan sistem perletakan dan siar muai. Jembatan ini juga dibuat dengan elevasi muka air banjir yang lebih tinggi dibandingkan dengan jembatan lama untuk menghindari terjadinya luapan air sungai. Masa pembangunan jembatan ini adalah 6 bulan.

Sebelum dioperasikannya jembatan integral Sinapeul perlu dilakukan uji beban kendaraan untuk meyakinkan bahwa jembatan tersebut dapat berfungsi dengan baik terhadap beban layan.

Uji beban juga dapat digunakan untuk meyakinkan bahwa jembatan tersebut mempunyai daya layan dan tingkat keamanan untuk digunakan sesuai dengan persyaratan. Untuk mencapai tujuan tersebut, terdapat beberapa metode, antara lain uji pembebanan

statik dan dinamik jembatan. Uji beban statik berupa pengukuran lendutan dan regangan struktur jembatan saat dilakukan pemberian beban pada jembatan secara terkendali dan terukur. Beban yang diberikan minimal sama dengan beban layan jembatan sesuai spesifikasi dan lendutan layan yang terjadi tidak melampaui batasan yang ditetapkan. Sedangkan uji beban dinamik berupa perekaman perilaku jembatan saat menerima beban dinamik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui respons jembatan dalam memikul beban statik dan dinamik dalam rentang linier. Struktur jembatan harus menunjukkan kinerja yang baik dalam memikul beban mati dan beban layan yang diberikan. Uji beban statik akan bermanfaat untuk memberikan informasi pola penyaluran gaya-gaya dalam superstruktur akibat beban hidup. Uji beban dinamik bermanfaat untuk mengukur frekuensi alami jembatan. Hasil uji beban statik maupun dinamik menjadi basis data kondisi awal jembatan yang dapat digunakan untuk evaluasi kondisi di masa-masa mendatang. Meski demikian, untuk keperluan ini uji beban

dinamik lebih unggul dalam segi ekonomis dan tingkat kemudahan pelaksanaan. Uji beban statik lebih akurat untuk menjadi basis kalibrasi pemodelan struktur. Data hasil uji beban ini selanjutnya dibandingkan dengan persyaratan dalam perencanaan. Kegiatan penelitian untuk mendapatkan data dilakukan langsung di jembatan sistem integral penuh, yaitu jembatan Sinapeul yang berada pada ruas KM Bandung 46+800.

Standar uji beban mengacu pada AASHTO (2000). Kapasitas jembatan yang diukur melalui regangan dan lendutan tidak boleh melebihi lendutan yang diizinkan.

## KAJIAN PUSTAKA

### Pengujian Beban Jembatan

Pengujian beban yang direkomendasikan oleh AASHTO (2000) dimaksudkan untuk mengevaluasi respon struktur jembatan. Tujuan melakukan pengujian beban pada jembatan yang ada adalah untuk mengevaluasi respon struktural jembatan tanpa menyebabkan kerusakan. Oleh karena itu, pengujian beban biasanya dilakukan dengan cara tidak merusak (*non destructive*). Tujuan dari jenis pengujian beban adalah membandingkan respon struktur jembatan di bawah beban uji dengan respon teoritis NCHRP-234 (TRB 1998). Pengujian beban dikategorikan sebagai tes diagnostik dan pengujian bukti. Metode pengujian diagnostik bertujuan untuk menganalisis efek pembebanan diferensial (yaitu geser, gaya aksial, defleksi, dan lain lain) yang terjadi dalam berbagai elemen struktur akibat beban bekerja (Phares 2005).

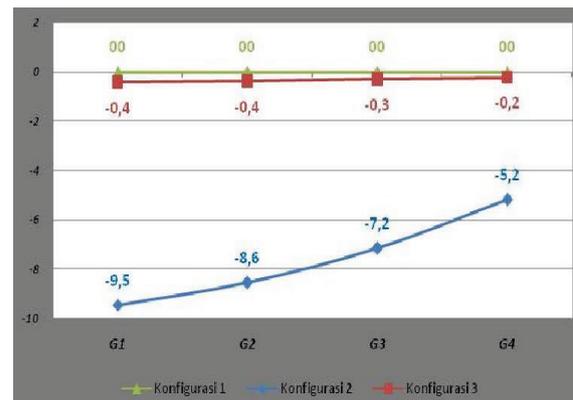
Pengujian beban bertujuan untuk mengetahui konfigurasi beban yang menyebabkan komponen struktural mendekati batas elastis (Hubo 2012). Berdasarkan penelitian yang sudah pernah dilakukan oleh Hubo pada jembatan gelagar beton Parkview diperoleh bahwa :

1. Tegangan akibat beban hidup pada serat atas gelagar beton relatif lebih kecil dari tegangan akibat beban mati;

2. Pada lokasi tertentu, tegangan pada serat atas gelagar lebih kecil dari tegangan yang berasal dari pengukuran lendutan;
3. Pembacaan tegangan dan regangan yang berasal dari sensor sangat dipengaruhi perbedaan temperatur pada jembatan.

Beberapa hal yang ditentukan dalam pengujian beban biasanya mencakup penentuan tujuan pengujian, konfigurasi beban, pemilihan dan penempatan instrumentasi, penerapan teknik analisis dan evaluasi yang tepat, dan perbandingan hasil tes dengan hasil analisis (Kleinhans, D.D. 2007). Pengujian beban dilaksanakan secara luas untuk mengevaluasi respon jembatan secara kasus per kasus disamping untuk mengevaluasi material dan struktur elemen jembatan (Hou and Lynch 2006).

Pengujian beban pada jembatan dengan gelagar beton pernah dilakukan pada jembatan Dewi Sartika *Fly Over* (Indonesia 2012). Pengukuran lendutan pada jembatan Dewi Sartika *Fly Over* dilakukan untuk mengetahui kapasitas jembatan tersebut. Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh bahwa terjadi perbedaan lendutan untuk beberapa konfigurasi beban (Gambar 1).



**Gambar 1.** Grafik lendutan antar gelagar akibat pembebanan statis hasil pengukuran deflectometer pada jembatan Dewi Sartika *Fly Over* A (Indonesia 2012)

Berdasarkan Gambar 1, lendutan maksimum terjadi pada gelagar 1 (G1) akibat

konfigurasi beban 2. Penurunan lendutan secara berurutan adalah 8,6 mm (G2); 7,2 mm (G3); dan 5,2 mm (G4). Perbedaan lendutan antara konfigurasi beban 2 dengan 3 sebesar 9,1 mm pada gelagar 1 (G1). Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pengujian beban pada jembatan Dewi Sartika *Fly Over* sangat dipengaruhi perbedaan konfigurasi beban truk.

Penelitian lain mengenai uji beban kendaraan terhadap jembatan pernah dilakukan oleh Subdit Teknik Jembatan, Direktorat Bina Teknik, Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum (Indonesia 2010) dengan studi kasus pada jembatan Timpah. Uji beban kendaraan dilakukan dengan 2 tahap yaitu uji statik dan uji dinamik. Uji statik dilakukan dengan menggunakan 24 buah truk dengan berat total 300 ton yang disebar disepanjang jembatan. Sedangkan uji dinamik dilakukan dengan *jumping test* dimana sebuah truk dengan berat 12,5 ton melewati sebuah ganjalan kayu setinggi 12 cm. Uji statik dilakukan untuk mendapatkan nilai lendutan dan tegangan, sedangkan uji dinamik dilakukan untuk mendapatkan nilai frekuensi getaran. Dari hasil penelitian tersebut disimpulkan bahwa nilai tegangan yang didapatkan dari alat uji melebihi nilai tegangan hasil perhitungan sehingga perlu dilakukan koreksi terhadap panjang kabel dan kondisi awal perhitungan.

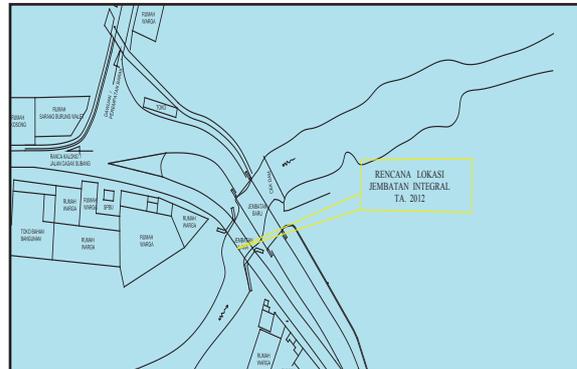
## HIPOTESIS

Uji beban (*loading test*) dapat memberikan nilai respons struktur jembatan akibat beban yang diberikan dan dapat digunakan untuk mengetahui kapasitas daya pikul aktual jembatan.

## METODOLOGI

### Data Teknis Jembatan Sinapeul

Jembatan Sinapeul terletak pada ruas KM Bandung 46+800 Kabupaten Sumedang Jawa Barat, dengan panjang bentang dan lebar masing-masing 20 meter dan 7 meter (Gambar 2).



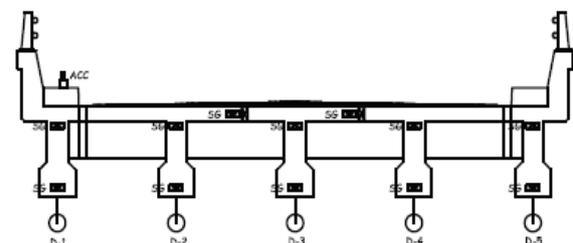
Gambar 2. Lokasi Jembatan Sinapeul

Tipe bangunan atas menyatu dengan bangunan bawah (terintegrasi) dengan menggunakan gelagar beton bertulang. Pembuatan masing-masing elemen jembatan (abutment, gelagar, dan lantai) dilakukan dengan cor insitu (Gambar 3).



Gambar 3. Tampak Memanjang Jembatan Sinapeul

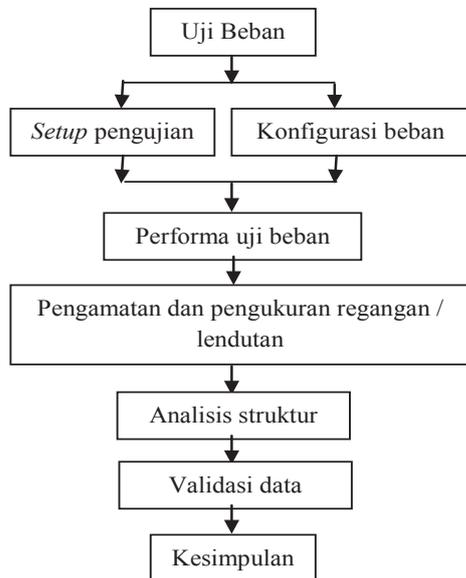
Untuk mengetahui perilaku jembatan Sinapeul (regangan dan lendutan yang terjadi), ditanam beberapa sensor berupa *strain gauge* pada bagian abutment, gelagar, dan lantai jembatan (Gambar 4).



Gambar 4. Layout penempatan *strain gauges* (statis)

Jaringan sensor yang tertanam pada elemen tersebut akan terus memantau respon jembatan terhadap beban termasuk dampak lingkungan (perubahan suhu).

Pengujian pembebanan (*loading test*) dilakukan pada jembatan integral (Sinapeul) yang berlokasi di Kabupaten Sumedang (Indonesia 2012). Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat dalam bagan alir pada Gambar 5.



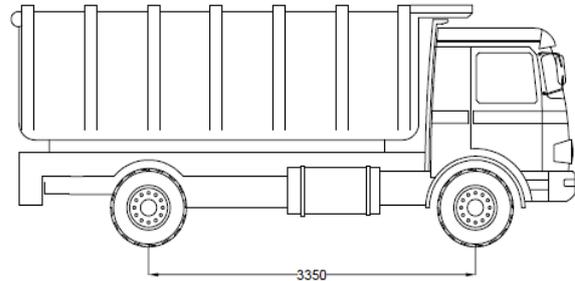
**Gambar 5.** Metodologi pengujian

Gambar 5 menyajikan bagan alir mengenai metodologi yang digunakan. Tahapan yang dilakukan dalam uji beban adalah sebagai berikut :

1. Tentukan konfigurasi beban kendaraan truk yang menghasilkan momen maksimum pada gelagar jembatan dan defleksi maksimum pada lantai jembatan;
2. Tentukan lokasi tengah bentang gelagar jembatan dengan memberi tanda pada lokasi tersebut;
3. Ukur ketinggian permukaan lokasi untuk menetapkan data dasar dari beberapa konfigurasi beban;
4. Ukur ketinggian permukaan untuk menentukan lendutan jembatan akibat beban truk;
5. Catat waktu truk selama dalam posisi konfigurasi tertentu;

6. Pastikan bahwa truk tetap dalam posisi selama minimal 10 menit untuk memungkinkan sensor mulai membaca data;
7. Pindahkan truk dari jembatan;
8. Ulangi langkah 2 sampai 7 untuk pengujian dengan konfigurasi yang berbeda.

Beban truk ditimbang dengan menggunakan alat *load cell/ weight ranger* masing-masing pada as depan dan as belakang.



**Gambar 6.** Konfigurasi sumbu truk beban uji

Gambar 6 menunjukkan konfigurasi beban roda truk yang digunakan untuk pengukuran regangan pada gelagar jembatan. Pengukuran regangan dilakukan untuk memperoleh regangan akibat beban truk dan beban lalu-lintas. Pengukuran dilakukan untuk 2 kondisi yaitu statis dan dinamis.

Pengukuran regangan dilakukan di tengah gelagar jembatan. Regangan statis baja tulangan diperoleh dengan melakukan pembacaan regangan akibat beban truk dalam kondisi diam.

Pengujian regangan statis dilakukan dengan menggunakan 3 kombinasi pembebanan yaitu kondisi beban kosong, kombinasi beban truk, dan kondisi kosong kembali.

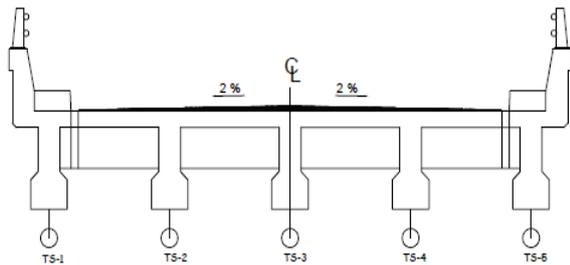
Lendutan dinamis diperoleh dengan melakukan pembacaan lendutan akibat beban yang bergerak. Beban bergerak yang dimaksud adalah beban truk yang bergerak maupun beban lalu-lintas bebas (Nabil 2005). Sebagai contoh untuk konfigurasi 1 diukur lendutan dinamis pada girder.

Sedangkan untuk mengetahui lendutan pada jembatan diperoleh dengan melakukan pembacaan lendutan akibat beban truk dalam kondisi diam. Pengujian lendutan dilakukan dengan menggunakan 3 kombinasi pembebanan

yaitu kondisi beban kosong beban truk, dan kondisi kosong kembali.

Getaran jembatan (vibrasi) diperoleh dengan melakukan pembacaan akselerometer akibat beban truk dalam kondisi bergerak. Pengujian vibrasi dilakukan dengan menggunakan truk yang bergerak dengan kecepatan tertentu.

Hal yang spesifik dalam pergerakan jembatan integral ini adalah pergerakan horisontal (arah memanjang jembatan). Pergerakan horisontal jembatan dilakukan dengan pengukuran perpindahan menggunakan alat Total Station (TS) seperti pada sketsa Gambar 7.



**Gambar 7.** Sketsa letak target alat TS untuk pengukuran perpindahan horizontal

## HASIL DAN ANALISIS

Pengujian pembebanan pada jembatan integral (jembatan Sinapeul) dilakukan sebelum lalu lintas dioperasikan. Kegiatan analisis

dilakukan dengan pengolahan data hasil uji serta membandingkan dengan persyaratan-persyaratan yang ada sesuai dengan perencanaan.

Tabel 1 menunjukkan hasil penimbangan beban truk dengan menggunakan alat *load cell/weight ranger*.

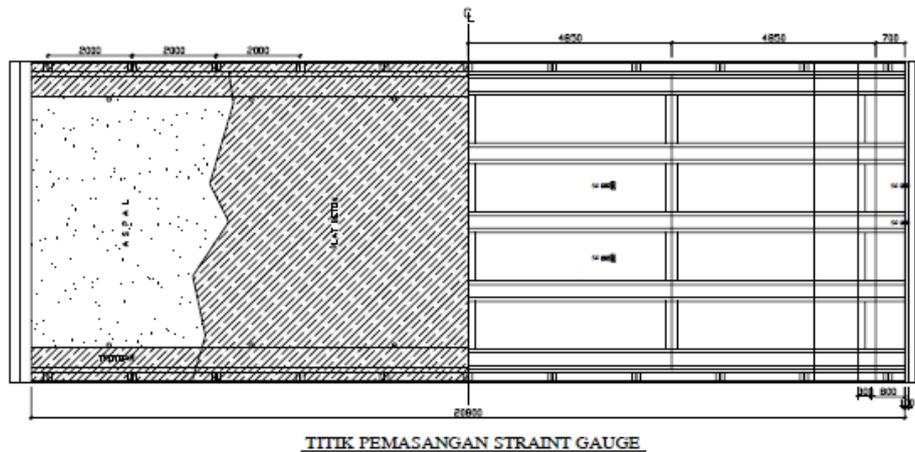


**Gambar 8.** Penimbangan beban truk uji

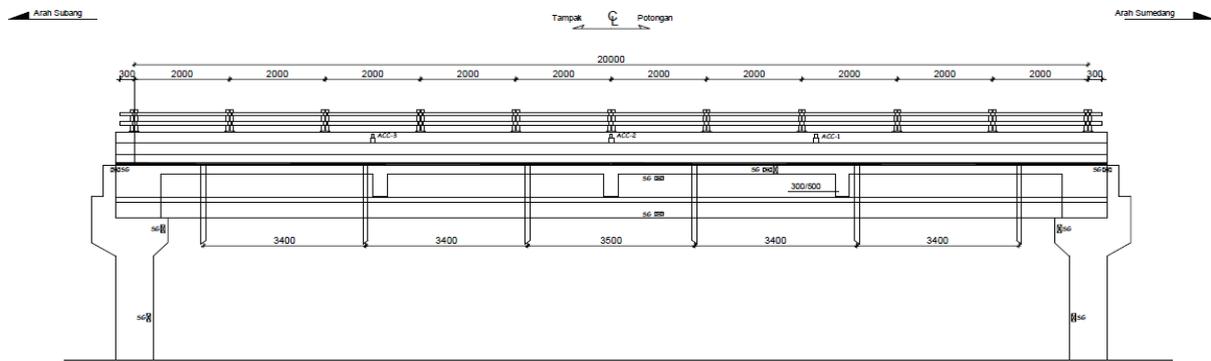
**Tabel 1** Berat Truk Uji

Jenis Truk	Berat 1 (kg)	Berat 2 (kg)	Berat 3 (kg)	Berat rata-rata (kg)
Dump truck 1	13770	13773	13772	13772
Dump truck 2	12480	12481	12480	12480
Dump truck 3	12480	12482	12480	12481
Dump truck 4	12580	12581	12581	12581
Berat Total				51313

Berat total dari ke empat *dump truck* berdasarkan Tabel 1 adalah 51313 kg. Tampak atas, tampak samping jembatan dan titik pemasangan sensor ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10.



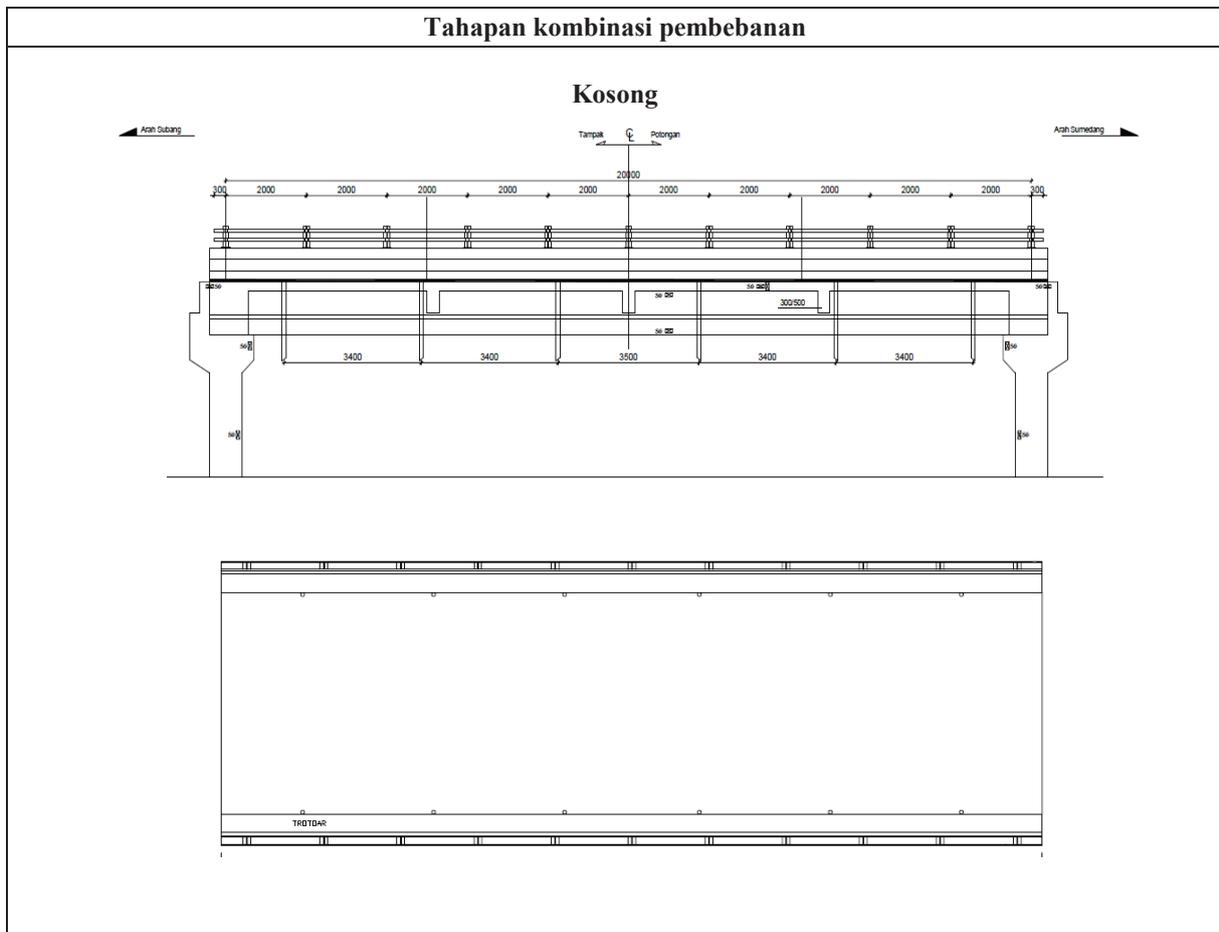
**Gambar 9.** Tampak atas jembatan dan titik pemasangan sensor



**Gambar 10.** Tampak samping jembatan dan titik pemasangan sensor

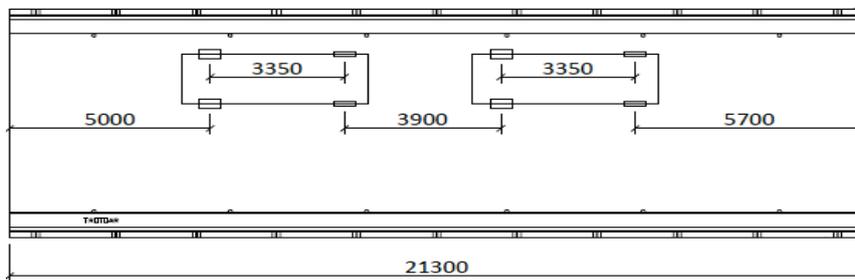
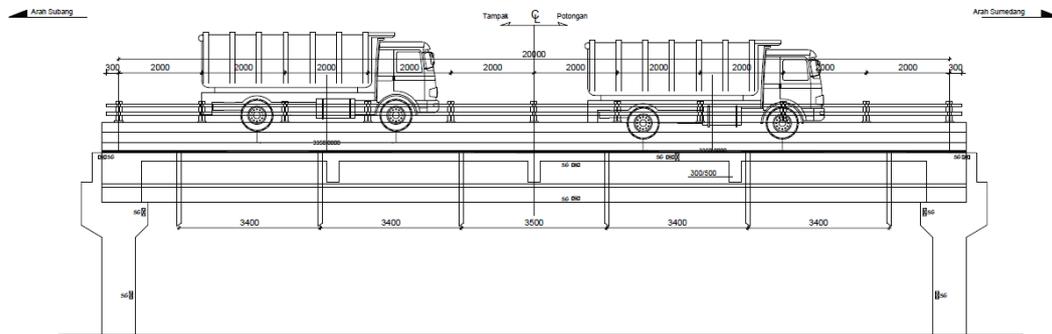
Tahapan kombinasi pembebanan jembatan ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Tahapan kombinasi pembebanan jembatan

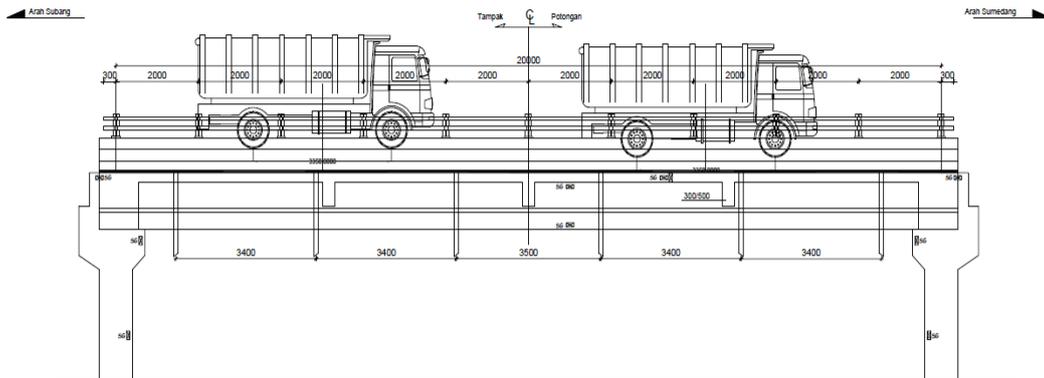
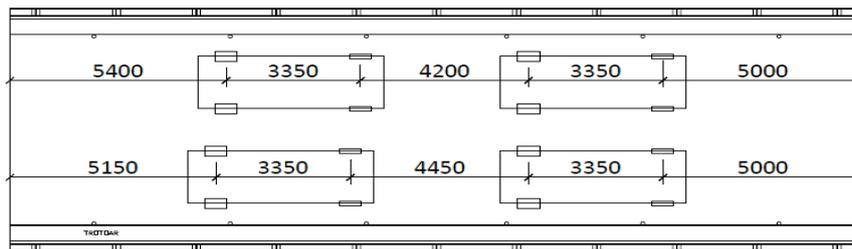


## Tahapan kombinasi pembebanan

### Simetris 2 truk



### Simetris 4 truk





### Perilaku gelagar terhadap pembebanan

Hasil pengukuran regangan statis tulangan dengan beberapa konfigurasi pembebanan dilakukan untuk mengetahui besarnya regangan tulangan pada gelagar di tengah bentang, di mana *layout* dari alat ukur regangan (*strain gauges*) mengacu pada Gambar 3. Tabel 3 memperlihatkan rekapitulasi pembacaan regangan statis.

**Tabel 3.** Rekapitulasi pembacaan regangan statis baja tulangan

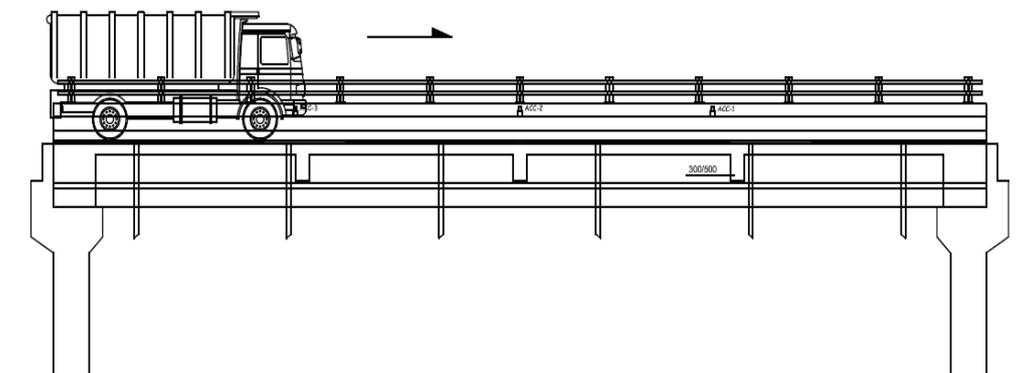
Kombinasi	Gelagar 1	Gelagar 2	Gelagar 4	Gelagar 5
	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$
Kosong 1	0	0	0	0
Simetris 2 Truk 1	-54	-53	-40	-36
Simetris 4 Truk	-76	-72	-169	-161
Simetris 2 Truk 2	-13	-42	-166	-151
Kosong 2	-11	3	-30	-22
Asimetris 2 Truk	-19	-12	-138	-126
Asimetris 3 Truk	-52	-15	-140	-128
Kosong 3	-32	-8	-122	-32

Dari Tabel 3, melalui pengukuran diperoleh nilai regangan statis maksimum sebesar  $169 \mu\text{-strain}$  ( $\mu\epsilon$ ) untuk kombinasi 3 yaitu dengan beban simetris 4 truk. Besarnya tegangan dan regangan statis pada serat bawah beton dapat dilihat pada Tabel 4.

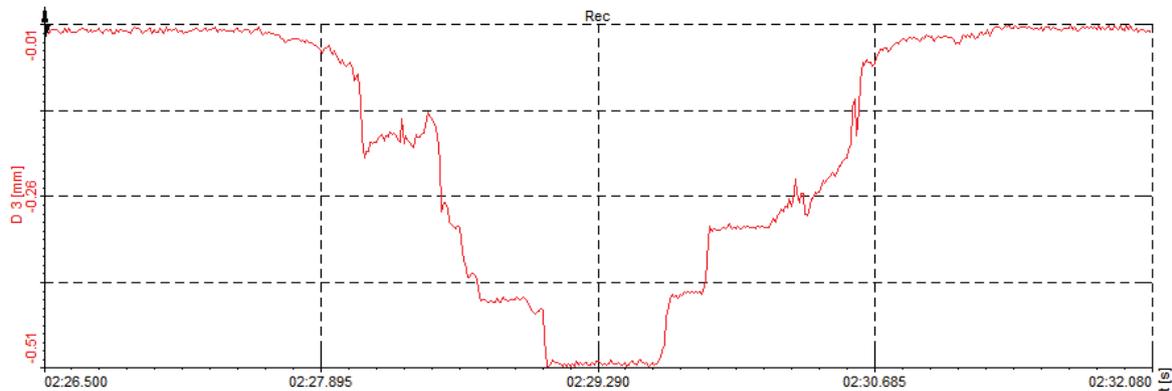
Dari Tabel 4, tegangan maksimum ( $\sigma_{\text{maks.}}$ ) sebesar 72 MPa terjadi pada serat bawah beton gelagar 1 dari kombinasi pembebanan simetris 4 truk. Berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4, besarnya regangan yang terjadi pada baja tulangan sama dengan regangan pada serat bawah beton. Pengukuran lendutan dinamis dan statis dilakukan dengan beban truk bergerak dan beban lalu lintas bebas (konfigurasi 1 seperti pada Gambar 11).

**Tabel 4.** Rekapitulasi pembacaan tegangan dan regangan statis pada serat bawah beton

Kombinasi	Gelagar 1		Gelagar 2		Gelagar 4		Gelagar 5	
	$\mu\epsilon$	$\sigma$ (MPa)						
Kosong 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Simetris 2 Truk 1	-54	-53	-53	-10,6	-40	-8	-36	-7,2
Simetris 4 Truk	-76	-72	-72	-14,4	-169	-33,8	-161	-32,2
Simetris 2 Truk 2	-13	-42	-42	-8,4	-166	-33,2	-151	-30,2
Kosong 2	-11	3	-3	0,6	-30	-6	-22	-4,4
Asimetris 2 truck	-19	-3,8	-12	-2,4	-138	-27,6	-126	-25,2
Asimetris 3 truck	-52	-10,4	-15	-3	-140	-28	-128	-25,6
Kosong 3	-32	-6,4	-8	-1,6	-122	-24,4	-32	-6,4



**Gambar 11.** Beban dinamis dengan satu truk



**Gambar 12.** Grafik lendutan yang terjadi pada gelagar 3

Gambar 12 menunjukkan besarnya lendutan pada gelagar 3 yang terbaca pada alat deflectometer.

Tabel 5 menunjukkan rekapitulasi pembacaan lendutan dinamis dan statis akibat pembebanan konfigurasi 1.

**Tabel 5.** Rekapitulasi pembacaan lendutan dinamis dan statis

No	Lendutan dinamis (mm)	Lendutan statis (mm)	DLA	DLA yang disyaratkan
1	0,47	0,39	1,21	1,4
2	0,49	0,39	1,25	1,4
3	0,49	0,39	1,25	1,4

Melalui pengukuran diperoleh nilai lendutan dinamis maksimum sebesar 0,49 mm dan lendutan statik sebesar 0,39 mm. DLA maksimum yang terjadi sebesar 1,25. Adapun rumus *Dynamic Load Allowance/ Amplification*

(DLA) berdasarkan Peraturan Perencanaan Jembatan *Bridge Manajement System* (Indonesia 1993) adalah sebagai berikut :

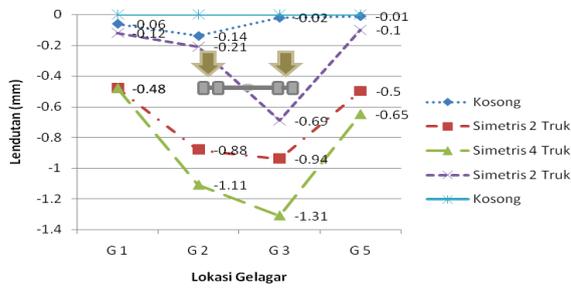
$$DLA = \frac{\text{respon dinamis}}{\text{respon statis}} \dots \dots \dots (1)$$

DLA yang disyaratkan sebesar 1,4 sehingga nilai DLA yang terjadi lebih kecil dari yang disyaratkan. Untuk lendutan jembatan diperoleh dari pembebanan truk dalam kondisi diam. Tabel 6 menunjukkan besar lendutan yang terbaca pada masing-masing *channel* untuk 3 konfigurasi beban.

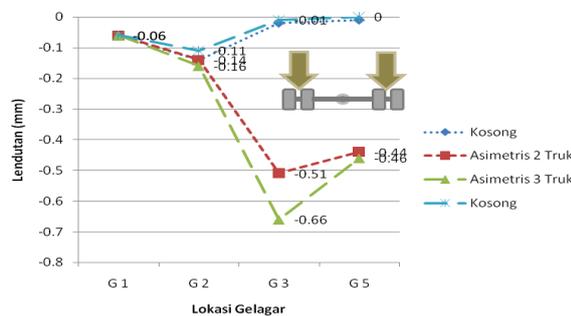
Berdasarkan Tabel 6 diperoleh nilai lendutan maksimum jembatan sebesar 1,31 mm yang terjadi pada gelagar 3 akibat kombinasi beban 3. Bila Tabel 6 dibuat dalam bentuk grafik akan diperoleh diagram lendutan sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 13 dan Gambar 14.

**Tabel 6.** Lendutan akibat beban truk beberapa kombinasi beban

No.	Kombinasi beban	Gelagar 1 (mm)	Gelagar 2 (mm)	Gelagar 3 (mm)	Gelagar 5 (mm)
1	Kosong 1	0	0	0	0
2	Simetris 2 truk	-0,12	-0,21	-0,69	-0,1
3	Simetris 4 truk	-0,48	-1,11	-1,31	-0,65
4	Simetris 2 truk	-0,48	-0,88	-0,94	-0,5
5	Kosong 2	-0,06	-0,14	-0,02	-0,01
6	Asimetris 2 truk	-0,06	-0,14	-0,51	-0,44
7	Asimetris 3 truk	-0,06	-0,16	-0,66	-0,46
8	Kosong 3	-0,06	-0,11	-0,01	0



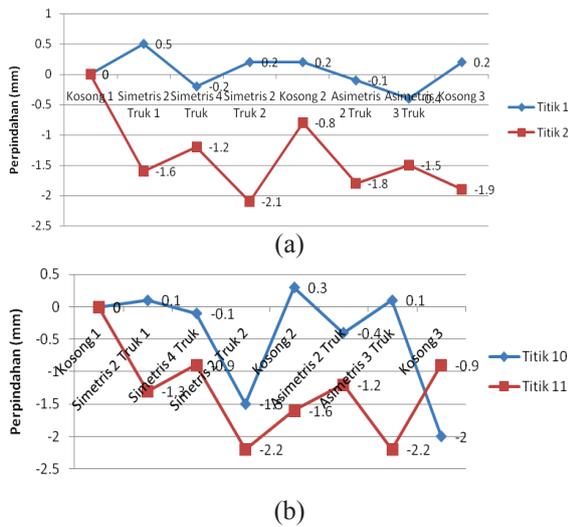
**Gambar 13.** Diagram lendutan jembatan dengan pembebanan simetris



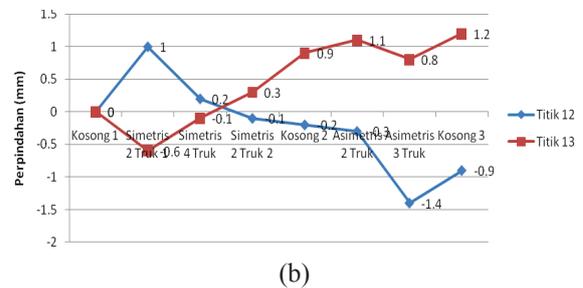
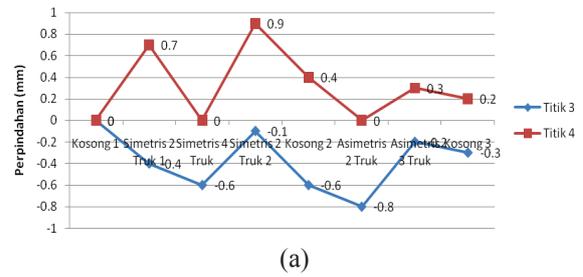
**Gambar 14.** Diagram lendutan jembatan dengan pembebanan asimetris

### Rotasi pada abutment

Untuk mengetahui besarnya pergerakan arah memanjang dari jembatan akibat beban truk dilakukan pengukuran *perpindahan* dengan menggunakan *Total Station*. Hasil pengujian perpindahan arah memanjang jembatan dapat dilihat pada Gambar 15 dan Gambar 16.



**Gambar 15 (a) dan (b).** Perpindahan horizontal jembatan arah- x



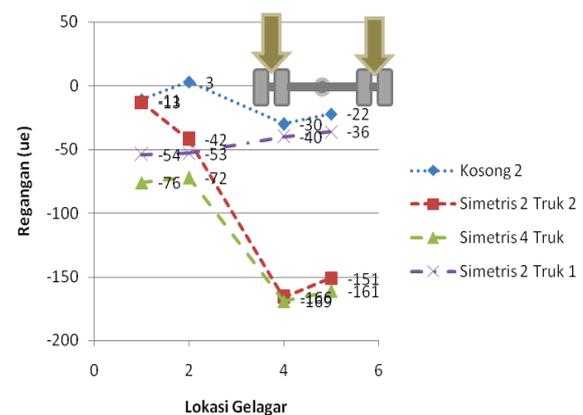
**Gambar 16 (a) dan (b).** Perpindahan horizontal jembatan arah- y

Dari Gambar 15(a), 15(b), 16(a) dan 16(b) dapat dilihat bahwa pergerakan horizontal maksimum jembatan dalam arah x sebesar 2,1 mm dan dalam arah y sebesar 2,5 mm.

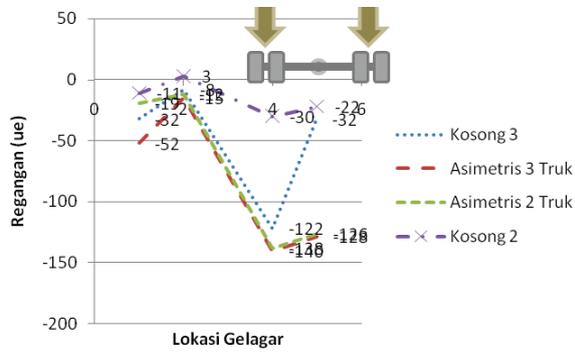
### PEMBAHASAN

#### Perilaku gelagar terhadap pembebanan

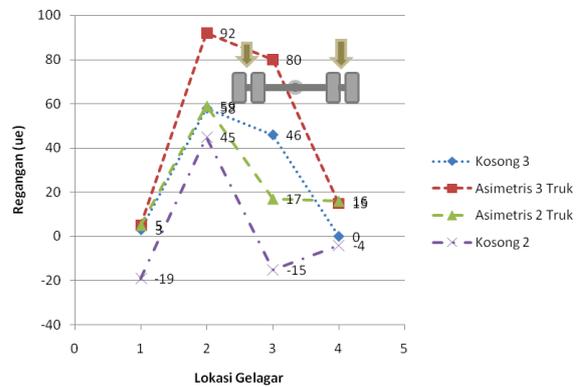
Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 3 didapat grafik regangan statis baja tulangan sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 17 dan Gambar 18.



**Gambar 17.** Grafik regangan baja tulangan pada kombinasi pembebanan simetris



**Gambar 18.** Grafik regangan baja tulangan pada kombinasi pembebanan asimetris

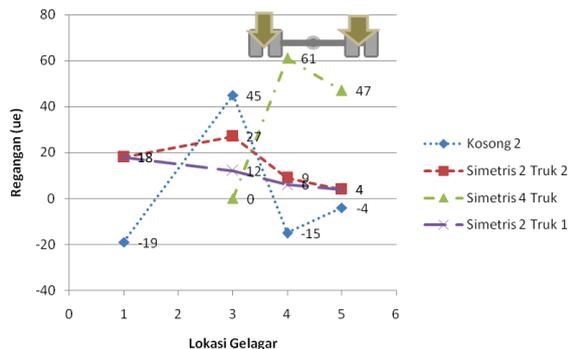


**Gambar 20.** Grafik nilai regangan beton pada kombinasi asimetris

Berdasarkan Tabel 4 diperoleh bahwa :

- Akibat pembebanan konfigurasi simetris, regangan maksimum yang terjadi pada tulangan sebesar 169  $\mu$ -strain dengan tegangan sebesar 33,8 MPa.
- Akibat pembebanan konfigurasi asimetris, regangan maksimum yang terjadi pada tulangan sebesar 140  $\mu$ -strain dengan tegangan sebesar 28 MPa.

Dari hasil kombinasi pembebanan simetris dan asimetris, diperoleh tegangan pada tulangan terjadi (33,8 MPa) lebih kecil dari tegangan ijin leleh tarik tulangan beton (267 MPa). Dari hasil pengukuran yang dilakukan, regangan statik yang terjadi pada permukaan beton (serat tarik), ditunjukkan dalam Gambar 19 dan Gambar 20.



**Gambar 19.** Grafik nilai regangan beton pada kombinasi simetris

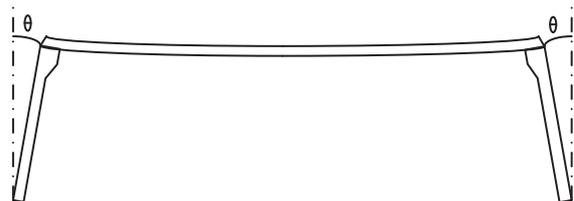
Dari Gambar 19 dan Gambar 20 terlihat bahwa regangan maksimum yang terjadi pada permukaan beton untuk kombinasi simetris sebesar 61  $\mu$ -strain. Sedangkan untuk kombinasi asimetris sebesar 92  $\mu$ -strain.

Besarnya lendutan jembatan akibat konfigurasi simetris (1,31 mm) maupun asimetris (0,66 mm) berdasarkan Gambar 13 dan Gambar 14 masih lebih kecil dari lendutan ijin sebesar  $L/800$  m = 20/800 m atau 25 mm.

### Rotasi pada abutment

Pergerakan arah horisontal jembatan akibat beban truk berdasarkan Gambar 15(a), 15(b), 16(a) dan 16(b) dapat dilihat pada Tabel 7.

Material timbunan yang digunakan pada jalan pendekat (oprit jembatan) arah Sumedang berbeda dengan arah Subang. Arah Sumedang (*abutment* 1) menggunakan material timbunan ringan sedangkan arah Subang (*abutment* 2) dengan timbunan tanah biasa. Pergerakan arah horizontal jembatan dapat diilustrasikan seperti dalam Gambar 21.



**Gambar 21.** Sketsa rotasi yang terjadi pada *abutment*

**Tabel 7.** Perbandingan perpindahan horizontal *abutment*

	Timbunan Ringan Arah Sumedang <i>Abutment 1</i>				Timbunan Tanah Arah Subang <i>Abutment 2</i>			
	X		Y		X		Y	
	(mm)	Rotasi (rad)	(mm)	Rotasi (rad)	(mm)	Rotasi (rad)	(mm)	Rotasi (rad)
Atas (5175 mm)	-2,1	-4,06E-04	2,5	4,83E-04	-2,2	-0,00043	2,5	4,83E-04
Bawah (3675 mm)	0,9	2,45E-04	1,6	4,35E-04	-1,4	-0,00038	-1,4	-3,81E-04

Dari Tabel 7, rotasi maksimum terjadi pada bagian atas *abutment* sebesar 4,8E-04 radian. Belum tampak adanya perbedaan perpindahan maupun besarnya rotasi yang terjadi antara *abutment 1* dengan *abutment 2*. Rotasi maksimum terjadi pada bagian atas *abutment*, artinya pergerakan struktur jembatan sebagian diakomodasi oleh struktur pondasi yang menyatu dengan *abutment*. Tidak adanya perbedaan yang signifikan untuk perpindahan dalam arah horizontal (arah memanjang jembatan) antara oprit jembatan yang menggunakan timbunan ringan dengan timbunan tanah biasa.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Akibat pembebanan konfigurasi simetris, tegangan maksimum yang terjadi pada baja tulangan sebesar 33,8 MPa dengan beban 4 truk. Sedangkan akibat pembebanan konfigurasi asimetris, regangan maksimum yang terjadi pada tulangan sebesar 28 MPa dengan beban 3 truk, maka dapat disimpulkan tegangan terjadi masih kecil dari tegangan ijin leleh baja tulangan 267 MPa.
2. Tegangan maksimum yang terjadi pada permukaan beton serat bawah untuk kombinasi simetris sebesar 1,22 MPa dan untuk kombinasi asimetris sebesar 1,84 MPa, tegangan tersebut masih kecil bila dibandingkan dengan tegangan ijin tarik beton sebesar 4 MPa.

3. Akibat pembebanan konfigurasi simetris, lendutan maksimum yang terjadi pada tengah bentang sebesar 1,31 mm dengan beban 4 truk. Sedangkan akibat pembebanan konfigurasi asimetris, lendutan maksimum yang terjadi pada tengah bentang sebesar 0,66 mm dengan beban 3 truk, nilai tersebut masih kecil bila dibandingkan dengan nilai persyaratan lendutan ijin ( $L/800$ ) sebesar 25 mm.
4. Dari hasil pengukuran regangan dinamis pada baja tulangan, memiliki faktor nilai beban dinamis (*Dynamic Load Allowance-DLA*) sebesar 1,25 nilai tersebut lebih kecil bila dibandingkan dengan faktor beban dinamis dari pembebanan jembatan sebesar 1,4.
5. Pergerakan horizontal maksimum jembatan sebesar 2,5 mm dan selisih perbandingan antara perpindahan antara *abutment 1* arah Sumedang dengan timbunan ringan dan *abutment 2* arah Subang dengan timbunan tanah biasa rotasi maksimum sebesar 4.83E-04 rad.
6. Berdasarkan data hasil pengukuran uji beban jembatan, konfigurasi dengan beban simetris menghasilkan regangan dan lendutan yang lebih besar dibandingkan konfigurasi asimetris. Nilai regangan maupun lendutan akibat beban truk lebih kecil dari yang dipersyaratkan dalam BMS (Indonesia 1993) maupun AASHTO sehingga struktur jembatan masih berperilaku elastis dimana kondisi struktur kembali seperti semula (tidak terjadi respon struktur residual).

7. Rotasi maksimum terjadi pada bagian atas abutment, artinya pergerakan struktur jembatan sebagian diakomodasi oleh struktur pondasi yang menyatu dengan abutment. Tidak adanya perbedaan yang signifikan untuk perpindahan dalam arah horizontal (arah memanjang jembatan) antara oprit jembatan yang menggunakan timbunan ringan dengan timbunan tanah biasa.

### Saran

1. Perlu dilakukan pengkajian perilaku jembatan terhadap faktor lingkungan disamping faktor beban kendaraan.
2. Perlunya penelitian lebih lanjut terhadap monitoring kinerja jembatan abutment integral secara berkala.
3. Perlu pemeriksaan detail jembatan sebagai data inisial jembatan untuk penilaian kondisi selanjutnya.
4. Diperlukan analisis lanjutan untuk membandingkan model perencanaan dan hasil pengujian untuk mengetahui kinerja jembatan tersebut.

### DAFTAR PUSTAKA

American Association of State Highway and Transportation Officials. 2000. *Manual for Condition Evaluation of Bridges*. 2nd edition. Washington, DC: AASHTO.

Hou, T. and P. J. Lynch. 2006. "Rapid-to-deploy wireless monitoring systems for static and dynamic load-testing of bridges: validation on the grove street bridge," in *13th Annual International Symposium on Smart Structures and Materials*, Proceedings of SPIE. San Diego: SPIE

Hubo Cai, et al. 2012. "Bridge Deck Load Testing Using Sensors and Optical Survey Equipment", *Advances in Civil Engineer*, 2012, Article ID 493983 . <http://www.hindawi.com/journals/ace/2012/493983/>

Indonesia. Directorate General of Highways. 1993. *Bridge Manajement System*

(BMS), IBMS General Procedures Manual. Jakarta: Directorate General of Highways

Indonesia. Kementerian Pekerjaan Umum, Puslitbang Jalan dan Jembatan. 2012. *Laporan Uji Coba Skala Penuh Jembatan Integral Gelagar Beton Bertulang dengan Bentang Tunggal*. Bandung: Pusjatan.

\_\_\_\_\_. Kementerian Pekerjaan Umum, Puslitbang Jalan dan Jembatan. 2012. *Laporan Uji Pembebanan Statis dan Dinamis Jembatan Integral Sinapeul B Kabupaten Sumedang*. Bandung: Pusjatan.

\_\_\_\_\_. Kementerian Pekerjaan Umum, Puslitbang Jalan dan Jembatan, 2012. *Laporan Kegiatan Pengujian Jembatan (Loading Test) Jembatan Semanggi dan Jembatan Dewi Sartika Fly Over A Cabang Cawang-Tomang - Cengkareng* Jakarta: Pusjatan.

\_\_\_\_\_. Kementerian Pekerjaan Umum, Ditjen Bina Marga. 2010. *Uji Pembebanan Jembatan Sebagai Standar Awal Pengoperasian jembatan Untuk Lalu Lintas Umum (Studi Kasus Jembatan Timpah)*. Jakarta: Subdit Teknik Jembatan.

Kleinbans, D.D. , J. J. Myers, and A. Nanni, 2007. "Assessment of load transfer and load distribution in bridges utilizing FRP panels," *Journal of Composites for Construction*, 11 (5): 545–552.

Nabil, F. Grace, Richard B. Nacey. 2005 "Truck Load Distribution Behaviour of The Bridge Street Bridge, Southfield, Michigan", *PCI Journal*. 50(2):76-89.

Phares, T. Wipf, L. Greimann, and Y. Lee, 2005. *Health Monitoring of Bridge Structures and Components Using Smart-Structure Technology*. Tech. Rep. 0092-04-14. Washington, DC.: Federal Highway Administration.

Transportation Research Board. 1998. *Manual for Bridge Rating Through Load testing*. HRD 234. Washington, DC. :TRB.