

## REDUKSI LENDUTAN PCI GIRDER DENGAN PEMASANGAN DIAFRAGMA

Aprilia Rossa Ariesta<sup>1</sup>, Andi Indianto<sup>2</sup>, Erlina Yanuarini<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta

<sup>2,3</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta

<sup>1</sup>apriliorossa3@gmail.com, <sup>2</sup>andi.indianto@sipil.pnj.ac.id, <sup>3</sup>erlina.yanuarini@sipil.pnj.ac.id

### Abstrak

Jembatan Keramasan 2 adalah jembatan dengan usia lebih dari 30 tahun, sehingga perlu ditinjau kelayakan dan kelayanannya. Berdasarkan hasil pengujian pembebanan dinyatakan bahwa lendutan pada girder melampaui lendutan yang diizinkan. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan perkuatan pada struktur atas. Perkuatan struktur atas yang dilakukan adalah dengan pemasangan diafragma di antara girder. Diafragma yang digunakan berupa profil baja siku 100 mm x 100 mm dengan tebal 10 mm.

Untuk menentukan jumlah dan posisi diafragma, dilakukan analisis terhadap dua alternatif. Alternatif pertama yaitu dengan penambahan 3 buah diafragma pada  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ , dan  $\frac{3}{4}$  bentang. Pada alternatif pertama, didapatkan nilai lendutan sebesar 26,9754 mm. Pada alternatif kedua, dilakukan pemasangan diafragma pada setiap jarak 3 meter. Penambahan diafragma tersebut menghasilkan lendutan sebesar 27,1634 mm. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan diafragma maka terjadi reduksi pada lendutan. Pada alternatif pertama dan kedua dihasilkan lendutan yang memenuhi lendutan yang diizinkan (31,375 mm). Dengan mempertimbangkan faktor keamanan, maka digunakan alternatif pertama yaitu dengan penambahan 3 buah diafragma dengan lendutan yang terkecil (26,9754 mm).

**Kata kunci:** Diafragma, Lendutan, Perkuatan, Struktur Atas Jembatan

### Abstract

*Keramasan Bridge 2 is a bridge with an age of more than 30 years, so it is necessary to review its feasibility and serviceability. Based on the loading test results, it is stated that the deflection on the girder exceeds the permissible deflection. Based on this, it is necessary to strengthen the upper structure. The strengthening of the upper structure is carried out by installing a diaphragm between the girders. The diaphragm is an angled steel profile of 100 mm x 100 mm with a thickness of 10 mm.*

*To determine the number and position of diaphragms, two alternatives were analyzed. The first alternative is to add three diaphragms at 1/4, 1/2, and 3/4 span. In the first alternative, the deflection value is 26.9754 mm. In the second alternative, the diaphragm is installed every 3 meters distance. The addition of the diaphragm produces a deflection of 27.1634 mm. The results of the analysis indicate that with the addition of a diaphragm, there is a reduction in deflection. In the first and second alternatives, a deflection that meets the permissible deflection is produced (31.375 mm). Considering the safety factor, the first alternative is used because adding three diaphragms affords the smallest deflection (26.9754 mm).*

**Keywords:** Deflections, Diaphragm, Strength, Bridge Upper Structure

### Pendahuluan

Salah satu infrastruktur yang penting pada suatu daerah adalah jembatan. Jembatan memiliki fungsi utama sebagai penghubung suatu daerah yang memiliki rintangan seperti sungai, lembah, danau, rawa, ataupun perlintasan kereta api di

bawahnya (Ariwardhana, 2015). Keberadaan jembatan diharapkan dapat meningkatkan perekonomian masyarakat dan menghemat biaya bagi angkutan barang serta orang.

Lantai jembatan adalah struktur pelat yang langsung menerima beban lalu lintas sehingga

sering terjadi kerusakan (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015b). Kerusakan yang terjadi pada lantai jembatan umumnya berupa keretakan arah memanjang dan melintang yang mengakibatkan penurunan daya layan struktur (Indianto, 2016). Berdasarkan Modul Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat mengenai perkuatan jembatan, retak ini termasuk retak struktural (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015). Perbaikan retak dapat menggunakan injeksi dengan epoksi, namun jika retak yang terjadi akibat rembesan air pada celah retak, maka epoksi tidak dapat digunakan (Bina Marga, 2017).

Jembatan Keramasan 2 adalah salah satu jembatan di Palembang yang dibangun untuk menghubungkan Jalan Mayjen Yusuf Singedekane – Jalan Lintas Sumatera dengan bentang 25,10 m yang melintasi perlintasan kereta api di bawahnya. Struktur atas Jembatan Keramasan 2 menggunakan PCI Girder. Jembatan beton prategang (*Prestressed Concrete Bridge*) merupakan struktur jembatan yang terdiri dari beton bertulang yang diberikan tambahan kabel baja (tendon) guna memberikan tambahan kekuatan pada struktur tersebut (Margan & Saelan, 2019).

Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan, terdapat tanda-tanda keretakan pada lantai jembatan. Berdasarkan Laporan Hasil Kajian Kelayakan dan Kelayakan Jembatan Keramasan Palembang tahun 2021, lantai jembatan yang mengalami keretakan menandakan bahwa lentutan yang terjadi pada struktur girder yang berada di bawahnya melampaui lentutan yang diizinkan. Perkuatan struktur atas yang dapat dilakukan adalah dengan pemasangan diafragma. Diafragma pada jembatan dibutuhkan agar jembatan yang memikul beban sendiri lantai jembatan dan beban truk tertentu di atasnya aman terhadap beban-beban yang bekerja (Jamal, 2007).

Berdasarkan uraian di atas, maka tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis reduksi lentutan yang terjadi pada PCI girder akibat pemasangan diafragma sehingga lentutan yang terjadi memenuhi lentutan yang diizinkan ( $\frac{1}{800} L$ ).

### Jembatan Beton Prategang

Jembatan beton prategang (*Prestressed Concrete Bridge*) adalah struktur jembatan beton bertulang dimana kabel baja tambahan (tendon) dipasang di sepanjang gelagar jembatan untuk memberikan kekuatan tambahan pada struktur.

Prinsip kerja dari beton prategang yaitu tendon ditarik di awal untuk memberikan tegangan tekan pada penampang beton sebelum adanya beban yang bekerja pada struktur (Margan & Saelan, 2019).

### Perkuatan Struktur Jembatan dengan Pemasangan Diafragma

Diafragma merupakan plat pendukung yang berfungsi untuk mengurangi lentutan pada jembatan. Diafragma pada jembatan dibutuhkan agar jembatan yang memikul beban sendiri lantai jembatan dan beban truk tertentu di atasnya aman terhadap lentur dan tekuk lateral (Jamal, 2007).

Penambahan diafragma ditujukan untuk memperkaku jembatan serta meningkatkan kerja sama antar gelagar. Perkuatan struktur atas jembatan dengan penambahan diafragma dapat dilihat pada Gambar 1. Penambahan diafragma mempengaruhi gaya-gaya dalam pada elemen struktur dan mencegah terjadinya retak pada pelat (Guci, 2017).



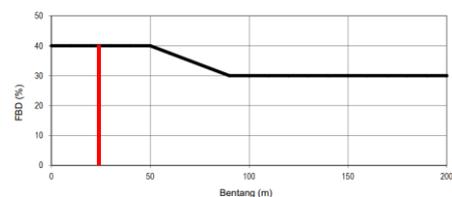
**Gambar 1.** Perkuatan jembatan dengan penambahan diafragma

### Pembebanan Pada Jembatan

Mengacu pada peraturan SNI 1725:2016 tentang pembebanan pada jembatan, berikut adalah beban-beban yang digunakan pada penelitian ini.

#### 1. Beban Garis Terpusat (BGT)

Besarnya beban BGT adalah 49 kN/m dikali dengan faktor beban dinamis (FBD). Faktor beban dinamis dapat dilihat pada Gambar 2. Dikarenakan bentang jembatan adalah 25,1 m, maka didapatkan faktor beban dinamis sebesar 40%.



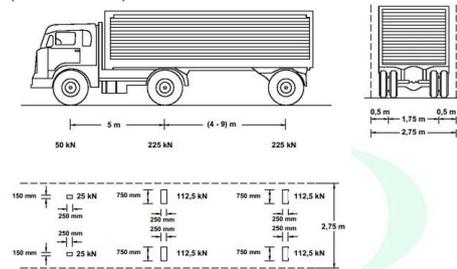
**Gambar 2.** Faktor beban dinamis

2. Beban Terbagi Rata (BTR)

Besaran beban terbagi rata tergantung pada panjang total yang dibebani. Dalam hal ini, panjang total yang dibebani adalah 25,1 m dimana panjang total tersebut kurang dari 30 m. Berdasarkan SNI 1725:2016, jika panjang total jembatan yang dibebani kurang dari 30 m, maka besaran q adalah 9,0 kPa dikali dengan lebar tinjauan.

3. Beban Truk (TLL)

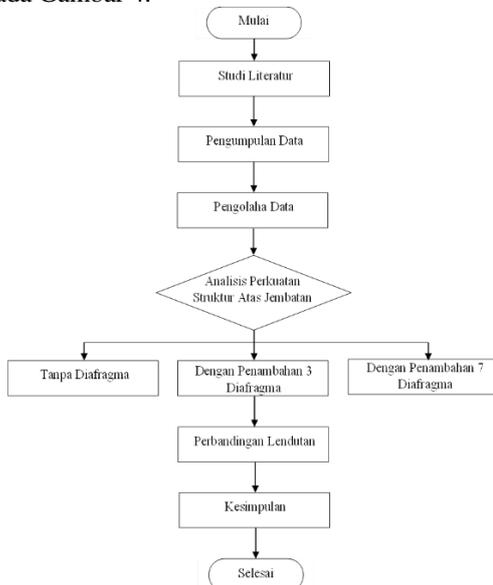
Beban truk "T" adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri atas dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat (Gambar 3).



Gambar 3. Pembebanan truk

Bagan Alir

Berikut tahapan dalam melakukan penelitian yang dituangkan pada bagan alir yang dapat dilihat pada Gambar 4.



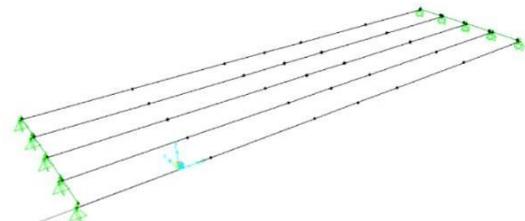
Gambar 4. Bagan alir penelitian

Tahap penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur berupa jurnal-jurnal, buku, dan peraturan yang berkaitan dengan topik

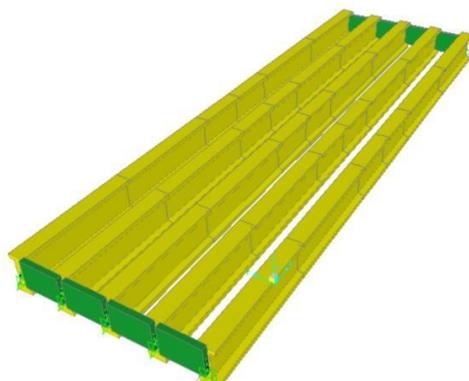
penelitian. Selanjutnya yaitu mengumpulkan data sekunder berupa data pengamatan struktur atas Jembatan Keramasan 2, uji pembebanan pada bentang Jembatan Keramasan 2, dan *Detail Engineering Design* (DED). Kemudian menganalisis perkuatan struktur atas jembatan yang tidak menggunakan diafragma, dengan pemasangan tiga diafragma, dan tujuh diafragma dengan jarak antar diafragma sebesar 3 m pada girder jembatan untuk memperkaku girder jembatan. Kemudian membandingkan lendutan yang terjadi akibat beban truk, BGT, dan BTR yang bekerja pada struktur atas jembatan. Selanjutnya membuat kesimpulan berdasarkan hasil analisis.

Analisis Struktur Atas Jembatan Sebelum Pemasangan Diafragma

Struktur atas Jembatan Keramasan 2 yang terletak di atas rel kereta dapat dilihat pada Gambar 5 dan dalam bentuk 3D pada Gambar 6. Struktur atas tersebut kemudian dibebani beban lalu lintas truk yang berpindah-pindah (TLL), beban garis terpusat (BGT), dan beban terbagi rata (BTR).



Gambar 5. Pemodelan Struktur Atas Jembatan



Gambar 6. Pemodelan Struktur Atas Jembatan 3D

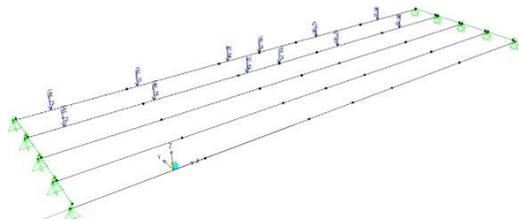
Berdasarkan SNI 1725:2016, beban truk, beban garis terpusat, dan beban terbagi rata dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$TLL_{blk} = 112,5 \text{ kN} \times 1,3 = 146,25 \text{ kN}$$

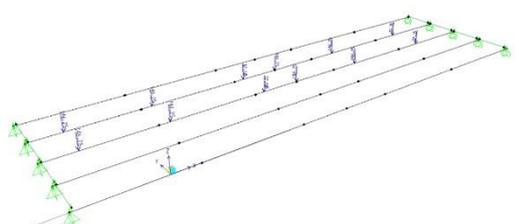
## Reduksi Lendutan PCI Girder dengan Pemasangan Diafragma

$$\begin{aligned} \text{TTL}_{\text{depan}} &= 25 \text{ kN} \times 1,3 \\ &= 32,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

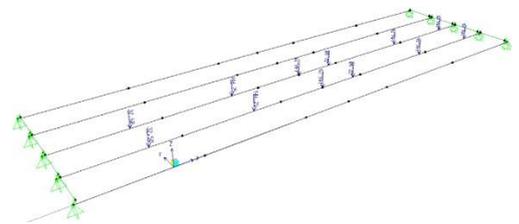
Bentang Jembatan Keramasan 2 adalah sepanjang 25,1 m. Oleh karena itu, digunakan pembebanan untuk 2 truk seperti yang terlihat pada Gambar 7 – 10.



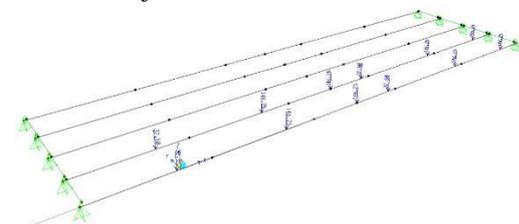
**Gambar 7.** Beban TLL1 pada struktur atas jembatan



**Gambar 8.** Beban TLL2 pada struktur atas jembatan



**Gambar 9.** Beban TLL3 pada struktur atas jembatan



**Gambar 10.** Beban TLL4 pada struktur atas jembatan

Besarnya beban garis terpusat adalah 49 kN/m dikali dengan faktor beban dinamis (FBD) dengan menyesuaikan panjang bentang 25,1 meter maka

didapatkan FBD sebesar 40%. Sehingga BGT dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{PLL}_{\text{Tengah}} &= 49 \text{ kN/m} \times 1,4 \times 1,85 \text{ m} \\ &= 126,91 \text{ kN} \\ \text{PLL}_{\text{Tepi}} &= 49 \text{ kN/m} \times 1,4 \times \frac{1,85}{2} \text{ m} \\ &= 63,455 \text{ kN} \end{aligned}$$

Besarnya beban terbagi rata adalah 9,0 kPa dikali dengan lebar tinjauan dikarenakan panjang total jembatan adalah kurang dari 30 m. Sehingga BTR dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{qLL}_{\text{Tengah}} &= 9,0 \text{ kN/m}^2 \times 1,85 \text{ m} \\ &= 16,65 \text{ kN/m} \\ \text{qLL}_{\text{Tepi}} &= 9,0 \text{ kN/m}^2 \times \frac{1,85}{2} \text{ m} \\ &= 8,325 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Lendutan yang terjadi akibat beban truk yang berpindah-pindah dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan lendutan yang terjadi akibat BGT dan BTR dapat dilihat pada Gambar 11.

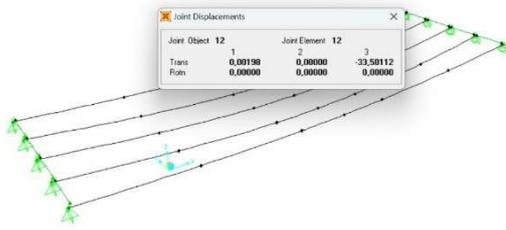
**Tabel 1.** Lendutan akibat beban truk yang berpindah-pindah

Girder	Lendutan (mm)			
	TLL1	TLL2	TLL3	TLL4
1	37.5113	2.2145	0.1694	0.0131
2	35.6109	35.4608	2.0584	0.0023
3	2.0697	35.4497	35.4548	2.0695
4	0.1582	2.0583	35.4659	35.611
5	0.0131	0.1693	2.2147	37.5112

Berdasarkan Tabel 1, hasil analisis menunjukkan adanya ketidakseragaman lendutan dan lendutan yang melampaui lendutan yang diizinkan pada girder ketika struktur jembatan diberi beban yang berpindah-pindah. Lendutan izin dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Lendutan izin} &= \frac{1}{800} \times L \\ &= \frac{1}{800} \times 25100 \text{ mm} \\ &= 31,375 \text{ mm} \end{aligned}$$

## Reduksi Lendutan PCI Girder dengan Pemasangan Diafragma



**Gambar 11.** Lendutan akibat BGT dan BTR pada jembatan sebelum pemasangan diafragma

Lendutan yang terjadi sebagai akibat dari BGT dan BTR adalah sebesar 33,501 mm seperti yang terlihat pada Gambar 11. Lendutan tersebut melampaui lendutan yang diizinkan.

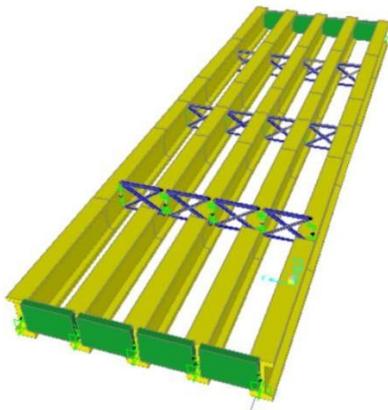
Sebagai akibat dari lendutan yang melampaui lendutan izin, maka struktur atas jembatan tersebut harus diberi perkuatan agar lendutan pada girder menjadi seragam, karena dengan tidak adanya diafragma dapat menyebabkan struktur tersebut tidak kaku.

### Analisis Struktur Atas Jembatan Setelah Penambahan Diafragma

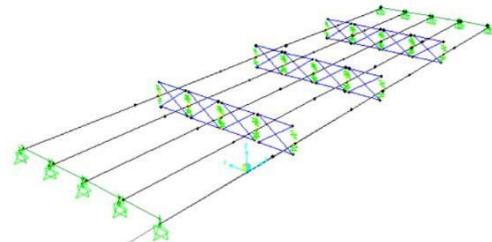
Terdapat dua alternatif pemasangan diafragma dalam penelitian ini. Berikut adalah masing-masing analisis dari alternatif tersebut.

#### 1. Alternatif 1

Direncanakan penambahan 3 diafragma jembatan pada  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  dan  $\frac{3}{4}$  bentang dengan baja siku 100 mm x 100 mm dan tebal 10 mm seperti yang terlihat pada Gambar 12 dan Gambar 13. Material baja yang digunakan pada diafragma ini yaitu JIS G3101 SS540.



**Gambar 12.** Pemasangan 3 buah diafragma

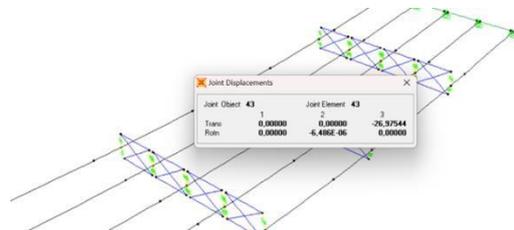


**Gambar 13.** Pemodelan struktur atas dengan 3 diafragma

Struktur jembatan dibebani beban truk berjalan mulai dari beban TLL1, TLL2, TLL3, dan TLL4 serta beban BGT dan BTR. Beban truk tersebut menghasilkan lendutan yang dapat dilihat pada Tabel 2. Sedangkan lendutan akibat BGT dan BTR dapat terlihat pada Gambar 14.

**Tabel 2.** Lendutan akibat pemasangan 3 buah diafragma

Girder	Lendutan (mm)			
	TLL1	TLL2	TLL3	TLL4
1	17,4719	15,2129	13,6437	12,737
2	16,5255	15,9135	14,2861	13,3398
3	14,6015	15,6109	15,5912	14,5732
4	13,3574	14,2951	15,8833	16,4868
5	12,7494	13,6477	15,1777	17,4287



**Gambar 14.** Lendutan akibat BGT dan BTR pada struktur atas jembatan dengan 3 diafragma

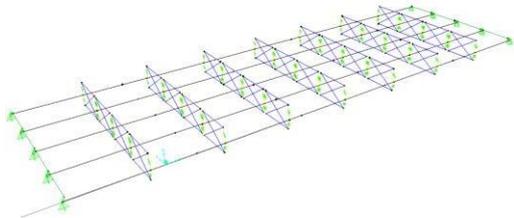
Berdasarkan Tabel 2, didapatkan interval nilai lendutan akibat adanya penambahan 3 diafragma antara 12,737 mm – 17,472 mm ketika dibebani beban truk yang berpindah. Hal ini menunjukkan bahwa dengan pemasangan 3 diafragma, nilai lendutan akibat beban truk menjadi tereduksi sehingga memenuhi lendutan yang diizinkan.

Lendutan yang terjadi akibat BGT dan BTR adalah sebesar 26,975 mm seperti yang terlihat pada Gambar 14. Lendutan tersebut juga memenuhi lendutan yang diizinkan.

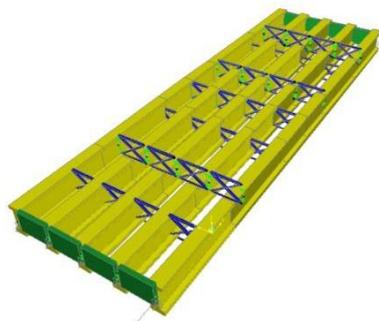
#### 2. Alternatif 2

Pada alternatif kedua, digunakan profil diafragma baja siku 100 mm x 100 mm dengan

tebal 10 mm yang diletakkan pada tiap jarak 3 m seperti yang terlihat pada Gambar 15 dan pemodelan 3D pada Gambar 16.



**Gambar 15.** Pemodelan struktur atas pada setiap jarak 3 m

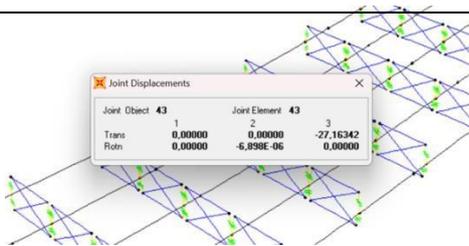


**Gambar 16.** Pemasangan 7 buah diafragma

Struktur jembatan dibebani beban berjalan yaitu beban truk yang dimulai dari beban TLL1, TLL2, TLL3, dan TLL4 serta beban BGT dan BTR. Beban truk tersebut menghasilkan lentutan yang dapat dilihat pada Tabel 3. Sedangkan lentutan akibat BGT dan BTR dapat terlihat pada Gambar 17.

**Tabel 3.** Lentutan akibat penambahan 7 buah diafragma

Girder	Lentutan (mm)			
	TLL1	TLL2	TLL3	TLL4
Girder 1	20,2388	16,0036	12,6696	10,1906
Girder 2	17,8078	16,3922	14,0808	12,0547
Girder 3	14,6574	15,7605	15,7517	14,6545
Girder 4	12,0575	14,0895	16,3835	17,805
Girder 5	10,1933	12,6778	15,9955	20,2362



**Gambar 17.** Lentutan akibat BGT dan BTR pada struktur atas jembatan dengan 7 diafragma

Berdasarkan Tabel 3, didapatkan interval nilai lentutan akibat penambahan 7 diafragma antara 10,191 mm – 20,239 mm ketika dibebani beban truk yang berpindah-pindah. Pada Gambar 17 terlihat bahwa nilai lentutan akibat BGT dan BTR sebesar 27,163 mm. Hal ini menunjukkan bahwa dengan pemasangan 7 diafragma, lentutan pada girder menjadi tereduksi dan memenuhi lentutan yang diizinkan.

Pengecekan terhadap lentutan izin dilakukan untuk mengetahui persentase pengaruh penggunaan diafragma pada struktur atas jembatan tersebut. Lentutan yang diambil adalah lentutan maksimal akibat beban truk dan kombinasi BGT dan BTR seperti yang terlihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil perbandingan lentutan

	$\delta_{max}$ (mm)	%	
		terhadap lentutan izin	Ket.
Tanpa diafragma	37,5113	119,56%	NOT OK
Alternatif 1	26,9754	85,98%	OK
Alternatif 2	27,1634	86,58%	OK

Berdasarkan Tabel 4, lentutan maksimum yang dihasilkan struktur tanpa diafragma adalah sebesar 37,5113 mm. Lentutan ini melampaui lentutan yang diizinkan dengan persentase 119,56% terhadap lentutan izin (31,375 mm). Pada struktur yang menggunakan 3 buah diafragma, dihasilkan lentutan maksimum pada struktur sebesar 26,975 mm. Lentutan pada struktur ini masih memenuhi lentutan yang diizinkan dengan persentase 85,98% terhadap lentutan izin. Sedangkan pada struktur dengan penambahan 7 buah diafragma, dihasilkan lentutan sebesar 27,163 mm. Nilai lentutan tersebut adalah 86,58% dari lentutan yang diizinkan. Hal ini selaras dengan penelitian Delima Sari, 2017 yang menyatakan bahwa semakin banyak diafragma yang dipasang, berat sendiri struktur akan mempengaruhi lentutan yang terjadi.

### Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan data dan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa dengan adanya penambahan diafragma maka didapatkan lentutan yang tereduksi. Diafragma yang digunakan adalah profil baja siku 100 mm x 100 mm dengan tebal

10 mm yang dipasang pada  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  dan  $\frac{3}{4}$  bentang. Dikarenakan dengan pemasangan diafragma nilai lentutan yang terjadi sudah memenuhi lentutan yang diizinkan, maka tidak diperlukan perkuatan lebih lanjut pada girder.

### Saran

Berdasarkan hasil kesimpulan, maka disarankan untuk dipasang diafragma pada jembatan untuk memperkaku dan mereduksi lentutan yang terjadi.

### Daftar Rujukan

- Ariwardhana, R. (2015). *Perkuatan Struktur Akibat Penambahan Lantai Menggunakan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) dengan Studi Kasus Gedung SMP 5 Muhammadiyah Surabaya*.
- SNI 1725:2016, (2016). [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)
- Perbaikan Retak Dengan Bahan Epoksi, (2017).
- Delima Sari, R. (2017). *Deformasi Jembatan Beton Ditinjau Sebagai Sistem Balok Silang dan Balok Sederhana*.
- Guci, J. M. (2017). Pengaruh Diafragma Terhadap Perilaku Sistem Struktur Jembatan. *Jurnal Teknik*, 6.
- Indianto, A. (2016). Studi Kasus Kerusakan Jembatan dan Pengaruhnya Terhadap Sisa Umur Jembatan. *Politeknologi*, 15.
- Jamal, A. (2007). *Analisis Pengaruh Diafragma Terhadap Tekuk Lateral Pada Gelagar Memanjang Jembatan*.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015a). *Modul Perkuatan Jembatan*.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015b). *Perbaikan Kerusakan Berdasarkan Bahan*.
- Laporan Hasil Kajian Kelayakan dan Kelayanan Jembatan Keramasan Palembang*. (2021).

Margan, D., & Saelan, P. (2019). *Studi Mengenai Analisis Penampang Balok Prategang Parsial pada Beban Kerja*. 5(2).