

PENANGANAN JEMBATAN PELAT GIRDER YANG MENGALAMI DEFLEKSI YANG BESAR SETELAH PENGECORAN PELAT LANTAI

Muttaqin Hasan¹, Mahlil² dan Muhammad Jamil³

^{1,2,3}) Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111

email: muttaqin@unsyiah.ac.id; mahlil.civ05@gmail.com; muhammadjamil@unsyiah.ac.id

Diterima : 10 Juli 2020
Direvisi : 08 Agustus 2020
Disetujui : 27 Agustus 2020
Diterbitkan : 14 November 2020

Abstract: The Gigieng Bridge at Pidie District was built using a steel plate girder structure with reinforced concrete slab. It's length spans 35.76 m and has a width of 6.5 m. During construction shortly after casting the slab, the girder structure experienced a deflection of 30 cm and the bottom of the girder had a large tension, making the bridge unusable. The design document was analyzed and a field assessment was carried out. This involved measuring the cross section of the girder, the lateral bracing distance, the connection systems, the number of bolts used in the connections, bolt tightness and the use of stiffeners on the girder. Furthermore, a structural analysis was conducted to ascertain the cause of the deflection and over stress experienced by the plate girder. Results showed it was due to a wrong assumption in the design, specifically the total height of the girder cross section and the assumption of the girder cross section as steel-concrete composite in carrying a dead load of slab and the weight of the girder. The study proposes a solution for the bridge by, releasing the stress on the girder by removing the slab, strengthening the plate girder structure I shape SM490 steel ($F_y = 363$ MPa) at the bottom of the existing girder with web size of 12.65 mm x 800 mm and flange size of 260 mm x 20 mm along the 30 m bridge length in the middle part, re-tightening the bolts and re-casting the slab.

Keywords : plate girder bridge, deflection, stress, structural strengthening

Abstrak: Jembatan Gigieng Kabupaten Pidie dengan panjang bentang 35,76 m dan lebar 6,5 m dibangun dari struktur baja pelat girder dengan lantai dari beton bertulang. Sesaat setelah dilakukan pengecoran pelat lantai, struktur pelat girder mengalami defleksi sampai 30 cm di tengah bentangnya dan kelihatan bagian bawah pelat girder mengalami tarik yang besar, sehingga jembatan tersebut tidak bisa digunakan. Untuk mengetahui penyebabnya, maka dilakukan asesmen lapangan meliputi pengukuran penampang pelat girder, jarak sokongan lateral, sistem sambungan dan jumlah baut yang digunakan pada sambungan, kekencangan baut dan pemasangan pengaku pada pelat girder. Disamping itu juga dilakukan asesmen pada dokumen perencanaan. Selanjutnya dilakukan analisis struktur dan diperoleh penyebab pelat girder mengalami defleksi yang besar dan tegangan berlebih (over stress) adalah karena kurangnya tinggi total penampang pelat girder. Rendahnya tinggi total penampang pelat girder disebabkan kesalahan asumsi dalam desain, dimana perencana mengasumsikan penampang pelat girder sebagai penampang komposit baja beton dalam menahan beban mati dari pelat lantai dan berat girder sendiri. Upaya penanganan jembatan yang diusulkan dalam studi ini adalah dengan cara menghilangkan tegangan pada pelat girder dengan cara membongkar lantai jembatan sehingga kondisi pelat girder kembali ke keadaan semula, melakukan perkuatan struktur pelat girder dengan menambah profil I pada bagian bawah pelat sayap bawah girder dengan ukuran pelat badan 12,65 mm x 800 mm dan pelat sayap 260 mm x 20 mm sepanjang 30 m panjang jembatan di bagian tengahnya dari baja mutu SM490 ($F_y = 363$ MPa), mengencangkan kembali baut-bautnya dan melakukan pengecoran kembali pelat lantainya.

Kata kunci : jembatan pelat girder, defleksi, tegangan, perkuatan struktur

1. PENDAHULUAN

Jembatan pelat girder adalah jembatan yang sistem struktur

utama pemikul bebannya terbuat dari pelat-pelat yang disusun berbentuk I dan cocok untuk jembatan dengan dua tumpuan

dengan panjang bentang sampai 40 m [1]. Bila pelat-pelat penyusunnya membentuk kotak, maka disebut jembatan box girder [2]. Pada jembatan pelat girder, momen lentur dipikul oleh pelat sayap atas dan bawah, sedangkan gaya geser dipikul oleh pelat badan [3]. Oleh karena itu semakin besar momen lentur yang bekerja, maka jarak antara pelat sayap atas dan bawah semakin besar, sehingga tinggi total penampang pelat girder makin besar. Karena tingginya pelat badan jembatan pelat girder, maka sering diberi pengaku vertikal dan pengaku horizontal dan banyak studi telah dilakukan untuk mempelajarinya [4]–[11].

Jembatan pelat girder sudah terkenal sejak akhir-akhir tahun 1980an dimana saat itu jembatan ini banyak digunakan untuk jembatan kereta api [12]. Saat ini jembatan pelat girder juga banyak digunakan untuk jembatan jalan raya [13]–[15]. Jembatan eksisting dapat digabung dengan balok komposit baru menggunakan join komposit [16].

Jembatan Gigieng di Kabupaten Pidie didesain untuk jembatan kelas C. Pekerjaan pembangunan Jembatan Gigieng dilaksanakan dalam 3 tahap. Tahap pertama adalah pembangunan dua buah abutment jembatan. Tahap kedua adalah pemasangan girder jembatan. Struktur utama jembatan merupakan sistem struktur pelat girder di atas 2 perletakan sederhana. Tahap ketiga adalah pelaksanaan pelat lantai jembatan, pengaspalan dan oprit jembatan. Sesaat setelah dilaksanakan pengecoran pelat lantai, maka girder jembatan mengalami lendutan yang besar, yaitu sebesar 30 cm pada tengah bentang jembatan yang melebihi batas yang diizinkan. Disamping itu juga terlihat bahwa bagian sayap bawah girder jembatan sudah menegang (terjadi tarik yang besar). Oleh karena itu, maka pengaspalan jembatan tidak dilanjutkan lagi dan jembatan ditutup untuk akses umum, karena dikhawatirkan akan mengalami keruntuhan [17], [18]. Untuk ini maka perlu dilakukan studi kenapa terjadi lendutan jembatan yang besar tersebut dan apakah jembatan juga mengalami kelebihan tegangan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi penyebab terjadinya lendutan yang sangat besar pada jembatan tersebut padahal jembatan belum difungsikan yang berarti bahwa belum ada kendaraan yang melewatinya. Selanjutnya

akan didesain perkuatan struktur, sehingga jembatan tersebut menjadi aman dan pekerjaan lanjutan jembatan dapat diteruskan, yang akhirnya jembatan dapat difungsikan.

Dalam melakukan evaluasi sebuah jembatan pelat girder perlu diketahui *section properties* dari penampang baja saja serta penampang komposit baja dan dek beton [19], [20]. Selain itu juga perlu ditinjau kekompakan penampang, kuat lentur, leleh penampang, tekuk lentur, tekuk torsi lateral, kuat geser, jarak *lateral bracing* dan fatigue [21]–[27].

2. METODE

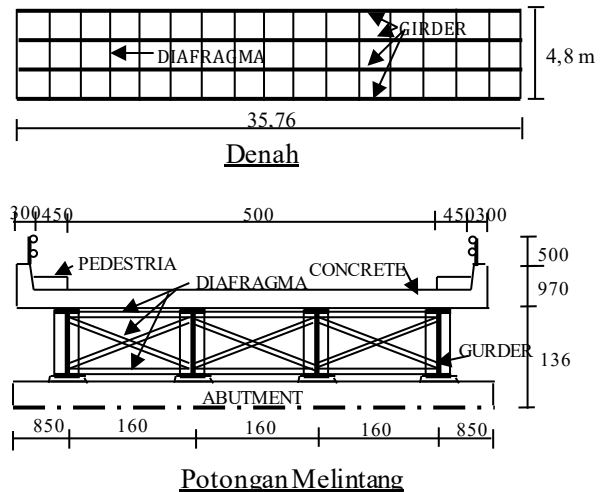
Metode yang digunakan dalam penelitian ini diawali dengan melakukan asesmen terhadap jembatan terpasang dengan cara melakukan pengukuran semua elemen struktur jembatan yang terpasang di lapangan dan melakukan asesmen terhadap dokumen perencanaan, data pengujian tarik baja dan data pengujian tekan beton. Dari hasil asesmen tersebut dapat digambarkan denah struktur jembatan dan potongan melintangnya seperti pada **Gambar 1**. Data jembatannya adalah sebagai berikut:

- a) Tipe jembatan: plat girder baja di atas dua tumpuan sederhana dengan lantai beton bertulang.
- b) Panjang bentang jembatan = 35,76 m.
- c) Jumlah girder = 4 buah
- d) Jarak antara girder (center to center) = 1,6 m
- e) Jarak dari as girder terluar ke sisi luar jembatan = 85,6 cm.
- f) Lebar lantai kendaraan = 5 m
- g) Lebar total jembatan = 6,5 m
- h) Ukuran sandaran = 25 cm x 50 cm
- i) Pelat lantai terletak di atas bondex dengan tebal 0,67 mm sampai 0,72 mm. Bondex hanya dipasang di antara girder
- j) Tebal pelat lantai antara 2 girder terluar = 20 cm sampai 25 cm. Tebal plat lantai rata-rata = 22,5 cm
- k) Tebal pelat lantai dari as girder terluar ke sisi luar jembatan = 25 cm
- l) Tebal trotoar di atas plat lantai = 16 cm

- m) Girder bentuk I dengan ukuran sayap atas = 300 mm x 13 mm; sayap bawah = 300 mm x 20,65 mm dan plat badan = 12,65 mm x 1216,35 mm.
- n) Tinggi total girder = 1250 mm
- o) Pada plat badan dipasang pengaku vertikal (*vertical stiffeners*) dengan ketebalan 12,40 mm setiap jarak 2,50 m.
- p) Girder terdiri atas 5 pias baja I yang disambung di 4 tempat dengan menggunakan plat penyambung badan, plat penyambung sayap atas dan plat penyambung sayap bawah. Tebal plat penyambung bagian bawah sayap bawah girder adalah 20 mm. Baut yang digunakan berdiameter 25,4 mm dengan mutu A325. Jumlah baut yang digunakan pada satu sisi girder adalah 40 buah pada pelat badan dan masing-masing 12 buah pada pelat sayap atas dan bawah.
- q) Mutu baja yang digunakan untuk pelat girder, pelat sambungan dan profil siku untuk lateral bracing adalah SS400 dengan kuat leleh sebesar 245 MPa dan kuat tarik sebesar 400 MPa.
- r) Beton untuk pelat lantai mempunyai kuat tekan sebesar 35 MPa.

Karena jembatan mengalami defleksi yang besar setelah dilakukan pengecoran pelat lantai, maka dilakukan perhitungan defleksi akibat beban mati (berat sendiri pelat girder, berat lateral bracing, pelat penyambung dan alat sambung, berat bondeks dan berat beton pelat lantai dan trotoir) dengan menggunakan analisis elastis. Analisis tegangan yang terjadi pada girder jembatan dihitung dengan menggunakan metode Load Factor Design (LFD) menurut [28]. Dalam melakukan perhitungan defleksi dan tegangan akibat beban mati, momen inersia yang digunakan adalah momen inersia penampang baja pelat girder, karena aksi komposit belum bekerja setelah pengecoran pelat lantai. Aksi komposit baru bekerja setelah umur beton mencapai 28 hari. Jadi penampang komposit baru bisa digunakan untuk analisis tegangan dan defleksi akibat beban mati tambahan (berat aspal) dan beban hidup. Pengecekan terhadap tekuk lokal sayap atas dan badan girder, pengecekan terhadap fatig, pengecekan terhadap panjang sayap atas yang

tidak dibreising, pengecekan terhadap kekompakan penampang, dan pengecekan terhadap kelangsingan pelat badan dan pelat sayap juga didasarkan pada standar [28], [29].



Potongan Melintang
Gambar 1. Jembatan pelat girder yang diteliti (Sumber: Dokumen Perencanaan dan Pengukuran Lapangan).

Beban hidup untuk jembatan Kelas C adalah yang memberikan pengaruh paling besar antara 70% dari beban D (beban terbagi rata dan beban garis) yang disebutkan dalam [30] atau beban truk.

Besarnya beban garis (p) adalah:

$$p = 0,7 \times 49 = 34,3 \text{ kN/m}$$

Besarnya beban terbagi rata (q) adalah:

$$q = 0,7 \times \{9,0 (0,5 + 15/35,76)\} = 5,793 \text{ kN/m}^2$$

Besarnya beban truk adalah seperti pada **Gambar 2** di bawah. Faktor impak untuk beban D adalah sebesar 0,3 dan untuk beban truk adalah sebesar 0,4. Beban hidup untuk trotoar adalah sebesar 5 kN/m².

Analisis strukturnya dilakukan dengan menggunakan software SAP 2000 dengan memodelkan girder jembatan sebagai balok yang terletak di atas dua tumpuan sederhana. Momen lentur berfaktor (M_f) dan gaya geser berfaktor (V_f) untuk desain LFD dihitung dengan rumus [13], [28]:

$$M_f = \gamma \{ \beta_D M_{DL} + 1,67 (M_{LL+I}) \} \quad (1)$$

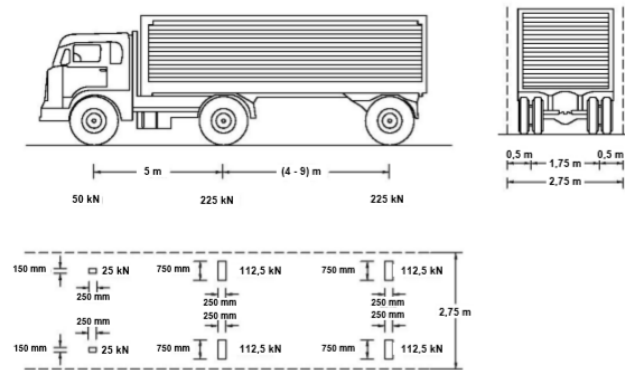
$$V_f = \gamma \{ \beta_D V_{DL} + 1,67 (V_{LL+I}) \} \quad (2)$$

$$\gamma = 1,3 \text{ untuk momen lentur} \quad (3)$$

$$\gamma = 1,4 \text{ untuk momen geser} \quad (4)$$

$$\beta_D = 1,0 \quad (5)$$

dimana M_{DL} = momen lentur berfaktor akibat beban mati termasuk beban mati tambahan, M_{LL+I} = momen lentur akibat beban hidup dan beban dampak, V_{DL} = gaya geser berfaktor akibat beban mati termasuk beban mati tambahan, dan V_{LL+I} = gaya geser akibat beban hidup dan beban dampak.



Gambar 2. Beban truk [30].

Dalam analisis dengan metode LFD, maka girder jembatan disebut aman terhadap momen yang bekerja bila tegangan akibat momen berfaktor M_f lebih kecil dari kuat leleh baja (F_y). Analisis tegangan pada struktur jembatan eksisting dilakukan dalam 3 tahap, yaitu [13]:

- Tahap pada saat jembatan selesai dicor lantainya. Pada tahap ini beban yang bekerja adalah beban mati (*dead load*, DL) saja. Beban hanya dipikul oleh girder baja saja.
- Tahap pada saat selesai pengaspalan jembatan. Pada tahap ini tegangan pada jembatan adalah kombinasi dari tegangan pada tahap a) dengan tegangan akibat beban mati tambahan (*superimposed dead load*, SDL). Untuk kasus ini, SDL nya hanya berupa beban aspal. Tegangan akibat SDL ditahan oleh penampang komposit antara girder baja dan beton plat lantai. Karena beban SDL ini selalu bekerja pada jembatan, maka dalam menghitung momen inersia penampang komposit untuk memikul SDL digunakan $n = 24$ [13], [28].
- Tahap pada saat kendaraan sudah melewati jembatan. Pada tahap ini tegangan pada jembatan

merupakan kombinasi tegangan pada tahap 1 (akibat DL), tahap 2 (akibat SDL) dan akibat beban hidup dan dampak (*live load + impact*, LL+I) yang berupa beban kendaraan dan pejalan kaki pada trotoar. Tegangan akibat LL+I ditahan oleh penampang komposit antara girder baja dan beton plat lantai. Karena beban LL+I ini tidak selalu bekerja pada jembatan, maka dalam menghitung momen inersia penampang komposit untuk memikul LL+I digunakan $n = 8$ [13], [28].

Besarnya kapasitas geser (V_u) harus lebih besar dari gaya geser berfaktor (V_f) yang dihitung dengan persamaan (2). Kapasitas geser girder dengan pengaku vertical dihitung dengan persamaan berikut [13]:

$$V_u = 0,58 D t_w F_y \left[C + \frac{0,87(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_o}{D}\right)^2}} \right] \quad (6)$$

$$\frac{d_o}{D} \leq 3 \text{ dan } \frac{d_o}{D} \leq \frac{67600}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2} \quad (7)$$

dimana V_u = kapasitas geser girder (kip), D = jarak bersih antara dua sayap (inci), t_w = tebal badan (inci), F_y = kuat leleh baja (ksi), d_o = jarak antara pengaku (inci), C = koefisien tekuk badan yang nilainya diberikan di dalam standar [28].

Langkah terakhir dari penelitian ini adalah melakukan desain perkuatan struktur girder jembatan dan memberikan rekomendasi penanganan jembatan, sehingga jembatan ini dapat dilanjutkan pembangunannya dan dapat difungsikan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Penampang (Section Properties)

Luas penampang, letak garis netral dan momen inersia penampang pelat girder dan penampang komposit dengan $n = 8$ dan $n = 12$ dihitung dan hasilnya diberikan pada **Tabel 1**. Untuk penampang komposit, luas penampang dan momen inersia yang diberikan pada **Tabel 1** adalah dari penampang transformasi.

Tabel 1. Section properties dari jembatan eksisting

Besaran	Penampang		
	Pelat girder	Komposit (n=8)	Komposit (n=24)
$A \text{ (mm}^2\text{)}$	25481,83	70481,83	40481,83
$y_b \text{ (mm)}$	572,53	1076,90	865,25
$y_t \text{ (mm)}$	677,47	173,10	384,75
$y_c \text{ (mm)}$	-	398,10	609,75
$I \text{ (mm}^4\text{)}$	5659979054	16002527522	11615461215

Keterangan: A = luas penampang, y_b = jarak garis netral dari sisi bawah pelat girder, y_t = jarak garis netral dari sisi atas pelat girder, y_c = jarak garis netral dari sisi atas pelat beton, I = momen inersia

Defleksi Jembatan Eksisting

Besarnya beban mati yang dipikul oleh sebuah girder setelah pengecoran pelat lantai adalah sebagai berikut:

Girder tepi:

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri girder} &= 25481,83 \times 10^{-6} \times 78,6 \\ &= 2,003 \text{ kN/m} \\ \text{Berat bondeks} &= 1600 \times 0,72 \times 10^{-6} \times 78,6 \\ &= 0,088 \text{ kN/m} \\ \text{Berat pelat beton dalam} &= 800 \times 225 \times 10^{-6} \times 24,0 \\ &= 4,320 \text{ kN/m} \\ \text{Berat pelat beton luar} &= 856 \times 250 \times 10^{-6} \times 24,0 \\ &= 5,136 \text{ kN/m} \\ \text{Berat trotoar} &= 740 \times 160 \times 10^{-6} \times 24,0 \\ &= 2,842 \text{ kN/m} \\ \text{Berat sandaran} &= 250 \times 500 \times 10^{-6} \times 24,0 \\ &= 3,000 \text{ kN/m} \\ \text{Berat lateral bracing, pengaku, penyambung} &= 0,200 \text{ kN/m} \\ \text{Jumlah } W_{DL} &= 17,589 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Girder tengah:

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri girder} &= 25481,83 \times 10^{-6} \times 78,6 \\ &= 2,003 \text{ kN/m} \\ \text{Berat bondeks} &= 3200 \times 0,72 \times 10^{-6} \times 78,6 \\ &= 0,176 \text{ kN/m} \\ \text{Berat pelat beton} &= 1600 \times 225 \times 10^{-6} \times 24,0 \\ &= 8,640 \text{ kN/m} \\ \text{Berat lateral bracing, pengaku, penyambung} &= 0,200 \text{ kN/m} \\ \text{Jumlah } W_{DL} &= 11,020 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan data tersebut, maka akibat beban mati terjadi defleksi pada girder tepi sebesar 330,85 mm dan pada girder tengah sebesar 207,28 mm. Jadi terjadi lendutan yang besar setelah dicor pelat lantai adalah karena girder yang dipasang tersebut mempunyai momen inersia yang kecil akibat

tinggi total penampang yang tidak mencukupi. Seharusnya jarak antara sayap atas dan sayap bawah harus lebih jauh dengan menyediakan pelat badan yang lebih tinggi. Pada dokumen perencanaan besarnya defleksi akibat beban mati hanya 18,47 mm. Kecilnya defleksi pada dokumen perencanaan disebabkan perencanaan menggunakan penampang komposit dalam menghitung defleksi akibat beban mati, padahal pada saat itu beton belum mempunyai kekuatan yang optimal, sehingga aksi komposit belum terjadi. Jadi dalam hal ini ada kesalahan dalam asumsi saat perencanaan.

Tegangan Jembatan Eksisting

Besarnya momen lentur dan gaya geser berfaktor akibat beban mati (DL), beban mati tambahan (SDL) dan beban hidup (LL) untuk gelagar tepi dan gelagar tengah masing-masing diberikan pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**. Hasil perhitungan tegangan akibat momen yang bekerja pada gelagar tengah dan gelagar tepi masing-masing diberikan pada **Tabel 4** dan **Tabel 5**. Dari tabel tersebut terlihat bahwa tegangan yang terjadi pada gelagar akibat beban mati sudah melebihi tegangan leleh baja, yang berarti bahwa gelagar jembatan tersebut sudah *overstress* sebelum beban hidup bekerja. Jadi jembatan tersebut tidak aman untuk digunakan. Dapat ditambahkan di sini bahwa dalam dokumen perencanaan, perencanaan menggunakan penampang komposit dalam menghitung tegangan akibat beban mati, sehingga tegangan hasil hitungan tersebut masih lebih kecil dari tegangan leleh baja.

Tabel 2. Momen lentur dan gaya geser berfaktor pada girder tepi

Besaran	DL	SDL	LL + I	TOTAL
Momen lentur (kNm)	3655,02	91,43	5069,72	8816,17
Gaya geser (kN)	440,29	11,01	560,47	1011,77

Tabel 3. Momen lentur dan gaya geser berfaktor pada girder tengah

Besaran	DL	SDL	LL + I	TOTAL
Momen lentur (kNm)	2289,90	731,46	5565,86	8587,22
Gaya geser (kN)	275,84	88,11	587,10	951,05

Tabel 4. Tegangan pada girder tepi (MPa)

Posisi	Steel top	Steel bottom	Concrete
DL	437,48	369,72	0,00
SDL	3,03	6,81	0,60
LL+I	54,84	341,17	15,77
Total	495,35	717,70	16,37
F_y atau f_c'	245	245	35
Kesimpulan	Tidak aman	Tidak aman	Aman

Tabel 5. Tegangan pada girder tengah (MPa)

Posisi	Steel top	Steel bottom	Concrete
DL	274,09	231,63	0,00
SDL	24,23	54,49	0,58
LL+I	60,21	374,56	17,31
Total	358,52	660,68	17,89
F_y atau f_c'	245	245	35
Kesimpulan	Tidak aman	Tidak aman	Aman

Asumsi penampang komposit dalam menahan beban mati adalah asumsi yang salah, karena pada saat baru dicor, beton belum mencapai kekuatannya dan aksi komposit belum bekerja.

Hasil perhitungan kapasitas geser jembatan menunjukkan bahwa penampang pelat girder yang dipasang mempunyai kapasitas geser (V_u) sebesar 2538,20 kN, yang lebih besar dari gaya geser maksimum total yang terjadi, yaitu sebesar 1011,77 kN. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan geser girder memenuhi persyaratan. Begitu juga hasil pengecekan terhadap tekuk lokal (*local buckling*) sayap atas dan badan girder, pengecekan terhadap fatig dan pengecekan terhadap panjang sayap atas yang tidak dibreising, pengecekan terhadap kekompakan penampang, dan pengecekan terhadap kelangsingan pelat badan dan pelat sayap semuanya menunjukkan bahwa ukurannya sudah memenuhi persyaratan.

Perkuatan Struktur Jembatan

Perkuatan struktur dapat dilakukan dengan cara menambah pelat girder I di bawah girder eksisting. Untuk menyatukan girder eksisting dengan pelat girder baru dapat dilakukan dengan sambungan baut atau dilas. Ukuran pelat girder baru yang harus ditambahkan adalah

sebagai berikut (**Gambar 3**):

Pelat sayap atas : ukuran 260 mm x 20 mm

Pelat badan : ukuran 12,65 mm x 800 mm

Pelat sayap bawah : ukuran 260 mm x 20 mm

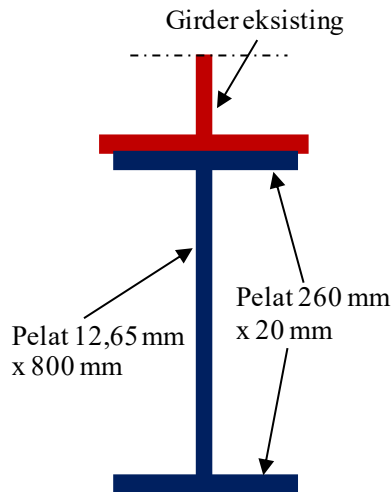
Mutu baja untuk pelat girder tambahan ini menggunakan baja mutu SM490 dengan tegangan luluh (F_y) = 363 MPa. Girder tambahan ini cukup dipasang sepanjang 30 m di tengah-tengah jembatan (simetris terhadap *centerline* bentang jembatan). Jadi sepanjang 3 m dari masing-masing ujung jembatan boleh tidak dipasang girder tambahan ini.

Pada pelat badan girder tambahan juga harus diberi pengaku vertikal (*vertical stiffeners*) pada posisi yang sama dengan girder eksisting dan pada ujung girder tambahan dengan ketebalan pelat yang sama seperti pengaku vertikal pada girder eksisting, yaitu 12,40 mm. Disamping itu lateral bracing dari profil siku 70.70.6 seperti pada girder eksisting harus dipasang pada pelat sayap bawah girder tambahan dengan posisi yang sama seperti pada girder eksisting. Semua material baja yang digunakan harus digalvanis dengan metode hot dip galvanize sesuai dengan [31], [32].

Luas penampang, letak garis netral dan momen inersia untuk penampang girder baja saja, penampang komposit ($n = 24$), penampang komposit ($n = 8$) setelah diberikan penambahan penampang girder I seperti pada **Gambar 2** diberikan pada **Tabel 6**. Akibat penambahan penampang dan lateral bracing ini maka terjadi penambahan beban mati sebesar 1,75 kN/m, yang menyebabkan terjadi peningkatan momen lentur berfaktor dan gaya geser berfaktor akibat beban mati masing-masing sebesar 280,10 kNm dan 31,33 kN. Besarnya tegangan yang timbul pada gelagar tepi dan gelagar tengah setelah diberikan perkuatan diperlihatkan pada **Tabel 7** dan **Tabel 8** yang menunjukkan bahwa penampang sudah aman.

Pada jarak 3 m dari tumpuan, penampang girder masih sama seperti penampang eksisting, karena tidak dilakukan perkuatan/penambahan penampang pada jarak 0 sampai 3 m dari tumpuan, sehingga perhitungan tegangan pada titik ini harus menggunakan penampang eksisting. Besarnya momen lentur berfaktor dan tegangan yang terjadi pada titik sejarak 3 m dari tumpuan pada gelagar tepi dan gelagar tengah

diperlihatkan pada Tabel 9, Tabel 10 dan Tabel 11. Terlihat dari tabel tersebut semua tegangan baja lebih kecil dari 245 MPa yang menunjukkan bahwa gelagar aman.



Gambar 3. Penampang girder tambahan

Tabel 6. Section properties setelah perkuatan

Besaran	Penampang		
	Pelat girder	Komposit (n=8)	Komposit (n=24)
A (mm ²)	25481,83	90748,83	60748,83
y_b (mm)	45748,83	1564,83	1259,80
y_t (mm)	959,43	505,17	810,20
y_c (mm)	-	730,17	1035,20
I (mm ⁴)	22356171649	52820440029	35656436197

Tabel 7. Tegangan girder tepi setelah perkuatan (MPa)

Posisi	Steel top	Steel bottom	Concrete	Existing steel bottom
DL	172,48	199,66	0,00	147,42
SDL	2,08	3,23	0,33	2,10
LL+I	48,49	150,19	8,76	0,00
Total	223,05	353,08	9,09	149,52
F_y atau f_c'	245	363	35	245
Kesimpulan	Aman	Aman	Aman	Aman

Dengan menggunakan girder baru yang sudah diperkuat, maka lendutan akibat beban mati menjadi 100 mm, sehingga untuk mengendalikannya perlu dibuat chamber

sebesar 200 mm.

Tabel 8. Tegangan girder tengah setelah perkuatan (MPa)

Posisi	Steel top	Steel bottom	Concrete	Existing steel bottom
DL	113,90	131,84	0,00	97,35
SDL	16,62	25,84	21,24	16,82
LL+I	53,23	164,89	9,62	86,41
Total	183,75	322,58	30,85	200,57
F_y atau f_c'	245	363	35	245
Kesimpulan	Aman	Aman	Aman	Aman

Tabel 9. Momen lentur berfaktor pada jarak 3 m dari tumpuan (kNm)

Posisi	DL	SDL	LL + I	TOTAL
Girder tepi	1225,31	28,11	1711,04	2964,46
Girder tengah	805,65	224,86	1711,04	2741,55

Tabel 10. Tegangan girder tepipada jarak 3 m dari tumpuan (MPa)

Posisi	Steel top	Steel bottom	Concrete
DL	146,66	123,95	0,00
SDL	0,93	2,09	0,18
LL+I	18,51	115,15	5,32
Total	166,10	241,19	5,51
F_y atau f_c'	245	245	35
Kesimpulan	Aman	Aman	Aman

Tabel 11. Tegangan girder tengah pada jarak 3 m dari tumpuan (MPa)

Posisi	Steel top	Steel bottom	Concrete
DL	96,43	81,50	0,00
SDL	7,45	16,75	0,58
LL+I	18,51	115,15	5,32
Total	122,39	213,39	5,90
F_y atau f_c'	245	245	35
Kesimpulan	Aman	Aman	Aman

Lendutan akibat beban hidup menjadi 23,63 mm yang lebih kecil dari nilai yang diizinkan, yaitu $L/800 = 44,70$ mm. Jadi jembatan yang diperkuat sekarang menjadi aman dan kuat menahan beban. Perbandingan tegangan maksimum pada

girder eksisting dan lendutan akibat beban mati sebelum dan sesudah dilakukan perkuatan diberikan pada **Tabel 12**. Hasil pada tabel ini menunjukkan bahwa setelah dilakukan perkuatan, maka lendutan dan tegangan yang terjadi menjadi lebih kecil dan berada dalam batas yang diizinkan.

Tabel 12. Perbandingan tegangan maksimum dan lendutan akibat beban mati pada girder eksisting

Kondisi	Sebelum perkuatan	Setelah perkuatan
Tegangan steel top (MPa)	437,48	172,48
Tegangan steel bottom (MPa)	369,72	199,66
Lendutan (mm)	330,85	100,00

Metode Penanganan Perbaikan Jembatan

Berhubung tegangan akibat beban mati (DL) pada girder sudah mencapai 437,48 MPa yang melebihi tegangan luluh baja yang digunakan (245 MPa), yang menunjukkan bahwa girder sudah mengalami *overstress*, maka dalam melakukan penanganan jembatan ini sebaiknya tegangan tersebut direlease terlebih dahulu dengan cara menghilangkan beban yang bekerja pada girder. Hal ini dapat dilakukan dengan cara membongkar beton pelat lantai terlebih dahulu sebelum dilakukan perkuatan struktur girder. Pembongkaran cukup dilakukan pada beton. Sedangkan besi tulangan dan bondek tidak perlu dibongkar. Dengan membongkar pelat lantai beton, maka pekerjaan perkuatanpun akan semakin mudah dilakukan.

Selanjutnya girder eksisting distel kembali dan ditambah girder tambahan yang penampangnya seperti pada **Gambar 3** di atas sepanjang 30 m simetris terhadap *centerline* jembatan. Hubungan antara girder lama dengan girder baru bisa dilakukan dengan sambungan baut atau sambungan las. Chamber sebesar 200 mm diberikan di tengah bentang jembatan. Setelah itu, semua baut-baut dikencangkan kembali sehingga memenuhi syarat kekencangan baut. Setelah semua prosedur di atas selesai dilakukan, pengecoran pelat lantai beton dapat dilakukan kembali. Pengaspalan harus dilakukan setelah umur beton pelat lantai mencapai 28 hari.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil asesmen di lapangan dan analisis yang dilakukan dalam penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penyebab terjadinya lendutan yang besar dari girder jembatan yang diteliti sesaat setelah pengecoran lantai jembatan adalah karena kurangnya tinggi penampang girder, sehingga momen inersia yang tersedia tidak mampu mengendalikan lendutan yang terjadi.
2. Penyebab terjadi tegangan berlebih (*overstress*) pada girder jembatan yang diteliti disebabkan penampang girder yang dipasang tidak mampu memikul beban yang bekerja disebabkan kecilnya momen inersia penampang.
3. Anggapan dalam perencanaan bahwa beban mati dipikul oleh penampang komposit adalah anggapan yang salah, karena pada saat lantai jembatan baru dicor, betonnya belum mengeras dan belum mencapai kekuatan optimal, sehingga aksi komposit belum terjadi. Seharusnya beban mati jembatan harus dianggap dipikul oleh penampang girder baja saja.
4. Girder jembatan yang diteliti dapat diperkuat dengan menambah penampang berbentuk I di bagian bawah girder terpasang dengan ukuran pelat badan 12,65 mm x 800 mm dan pelat sayap 260 mm x 60 mm dari baja mutu SM490 dengan tegangan luluh (F_y) = 363 MPa.

Saran

Untuk penanganan jembatan ini disarankan untuk membongkar beton pelat lantai tanpa membongkar besi tulangnya, menyetel kembali girder eksisting dan menambah girder tambahan untuk perkuatan, memberikan chamber sebesar 200 mm, mengencangkan kembali baut-baut dan mengecor kembali lantai jembatan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Ellobody, "Finite Element Analysis of Steel and Steel-Concrete Composite Bridges," in *Finite Element Analysis and Design of Steel and Steel-Concrete Composite Bridges*, 2014.
- [2] M. Hasan, M. Afifuddin, M. Jamil, and Yuslinda,

- "The Effect of Strain Hardening and Cross Section Shape on Post Yield Behavior of Steel Box Girder Bridge," *Int. J. Aca. Eng. Res.*, vol. 2, no. 11, pp. 15–19, 2018.
- [3] Q. A. Hasan, W. H. Wan Badaruzzaman, A. W. Al-Zand, and A. A. Mutalib, "The state of the art of steel and steel concrete composite straight plate girder bridges," *Thin-Walled Structures*. 2017.
- [4] F. Presta, C. R. Hendy, and E. Turco, "Numerical validation of simplified theories for design rules of transversely stiffened plate girders," *Struct. Eng.*, 2008.
- [5] R. Chacón, M. Bock, and E. Real, "Longitudinally stiffened hybrid steel plate girders subjected to patch loading," *J. Constr. Steel Res.*, 2011.
- [6] F. Sinur and D. Beg, "Intermediate transverse stiffeners in plate girders," *Steel Constr.*, 2012.
- [7] R. Chachon, E. Mirambell, and E. Real, "Transversally Stiffened Plate Girders Subjected to Patch Loading. Part 1. Preliminary Study," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 80, pp. 483–491, 2013.
- [8] B. Kovesdi, J. Alcaine, I. Dunai, E. Mirambell, B. Braun, and U. Kuhlmann, "Interaction Behavior of Steel I-Girders, Part II: Longitudinally Stiffened Girders," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 103, pp. 344–353, 2014.
- [9] R. Chacón, "Mechanical behavior of the shear-patch loading interaction on transversally stiffened steel plate girders," *Lat. Am. J. Solids Struct.*, 2014.
- [10] R. Chacón, E. Mirambell, and E. Real, "Transversally stiffened plate girders subjected to patch loading: Part 2. Additional numerical study and design proposal," *J. Constr. Steel Res.*, 2013.
- [11] F. Sinur and D. Beg, "Moment-shear interaction of stiffened plate girders - Numerical study and reliability analysis," *J. Constr. Steel Res.*, 2013.
- [12] P. . Kumar, "Design of Plate Girders for Deck Type Railway Bridges," *Int. J. Innov. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 3, pp. 80–85, 2018.
- [13] R. L. Brockenbrough and F. S. Merritt, *Structural Steel Designer's Handbook - Third Edition*. 1999.
- [14] S. Chatterjee, *The Design of Modern Steel Bridges*. 2003.
- [15] R. M. Barker and J. A. Puckett, *Design of Highway Bridges: An LRFD Approach: Third Edition*. 2013.
- [16] J. G. Nie, Y. H. Wang, X. G. Zhang, J. S. Fan, and C. S. Cai, "Mechanical behavior of composite joints for connecting existing concrete bridges and steel-concrete composite beams," *J. Constr. Steel Res.*, 2012.
- [17] www.tribunnews.com, "Jembatan Senilai Rp 4 Miliar Lebih di Gigieng Pidie Belum Berfungsi, Ini Penyebabnya."
- [18] www.waspada.id, "Dua Jembatan di Pidie Butuh Perhatian Pemerintah Aceh."
- [19] J. E. Padgett and R. DesRoches, "Three-dimensional nonlinear seismic performance evaluation of retrofit measures for typical steel girder bridges," *Eng. Struct.*, 2008.
- [20] B. Phares, Y. . Deng, and O. Steffens, "Evaluation of A Folded Plate Girder Bridge System," 2017.
- [21] K. C. Rokey and I. T. Cook, "The buckling under pure bending of a plate girder reinforced by multiple longitudinal stiffeners," *Int. J. Solids Struct.*, 1965.
- [22] K. Anami and R. Sause, "Fatigue of web-flange weld of corrugated web girders: 2. Analytical evaluation of fatigue strength of corrugated web-flange weld," *Int. J. Fatigue*, 2005.
- [23] J. Moon, J. W. Yi, B. H. Choi, and H. E. Lee, "Lateral-torsional buckling of I-girder with corrugated webs under uniform bending," *Thin-Walled Struct.*, 2009.
- [24] H. R. Kazemi Nia Korani, "Lateral bracing of I-girder with corrugated webs under uniform bending," *J. Constr. Steel Res.*, 2010.
- [25] F. N. Leitão, J. G. S. Da Silva, P. C. G. S. Da Vellasco, S. A. L. De Andrade, and L. R. O. De

- Lima, "Composite (steel-concrete) highway bridge fatigue assessment," *J. Constr. Steel Res.*, 2011.
- [26] J. Moon, N. H. Lim, and H. E. Lee, "Moment gradient correction factor and inelastic flexural-torsional buckling of I-girder with corrugated steel webs," *Thin-Walled Struct.*, 2013.
- [27] M. F. Hassanein and O. F. Kharoob, "Behavior of bridge girders with corrugated webs: (II) Shear strength and design," *Eng. Struct.*, 2013.
- [28] AASHTO, *Standard Specification for Highway Bridges, 17th ed.* Washington DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2002.
- [29] BSN (Badan Standardisasi Nasional), RSNI T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan , " *Jakarta Badan Stand. Indones.*, 2005.
- [30] BSN (Badan Standardisasi Nasional), "SNI 1725:2016 Standar pembebanan untuk jembatan," *Bandung Badan Stand. Indones.*, 2016.
- [31] ASTM A123/A123M-00, *Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products.* .
- [32] ASTM International, "ASTM DESIGNATION: A153/A 153M-09 Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware," in *Annual Book of ASTM Standards*, 2001.