



Analisis Struktur Gelagar Jembatan Steel Box Girder Tipe Komposit Baja-Beton

Eko Walujodjati¹, Sopyan Sauri Al Qurthubi²

Jurnal Konstruksi
Institut Teknologi Garut
Jl. Mayor Syamsu No. 1 Jayaraga Garut 44151 Indonesia
Email : jurnal@itg.ac.id

¹eko.walujodjati@itg.ac.id
²sopyansaori347@gmail.com

Abstrak – Jembatan *fly over* jalan alternatif Kadungora-Leles ini merupakan jembatan pertama di Kabupaten Garut yang menggunakan *steel box girder* sebagai gelagarnya. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan analisis terhadap struktur gelagar *steel box girder* pada jembatan ini. Metode yang digunakan dalam analisis struktur gelagar jembatan ini adalah metode *Allowable Stress Design*. Analisis ini menganggap tegangan yang terjadi akibat beban layan yang dihitung berdasarkan teori elastis balok lentur, tidak melebihi tegangan izin yang ditetapkan. Tegangan izin ditetapkan sebagai kuat ultimate atau kuat leleh baja yang dibagi dengan faktor keamanan. Pembebanan jembatan mengacu pada SNI 1725:2016, sedangkan untuk analisis sambungan baut menggunakan RSNI T-03-2005. Dari hasil analisis diperoleh, struktur gelagar jembatan *steel box girder* mengalami tegangan tarik sebesar 1801,41 kg/cm², mengalami lendutan sebesar 101,991 mm. Setelah dilakukan analisis pada sambungan gelagar, didapatkan bahwa pelat sambung flens bagian bawah memiliki kapasitas geser-leleh sebesar 9135000 N, pelat sambung *web* memiliki kapasitas geser-leleh sebesar 9020160 N. Pelat sambung flens bagian bawah memiliki jumlah baut sebanyak 72 buah (24 mm), sedangkan menurut hasil analisis hanya dibutuhkan 31 buah baut. Konfigurasi baut pada pelat sambung *web* memiliki kapasitas geser 11928,992 kN, sedangkan gaya geser yang harus dipikul sebesar 421,933 Kn.

Kata Kunci – *Fly over*; *Gelagar*; *Steel Box Girder*.

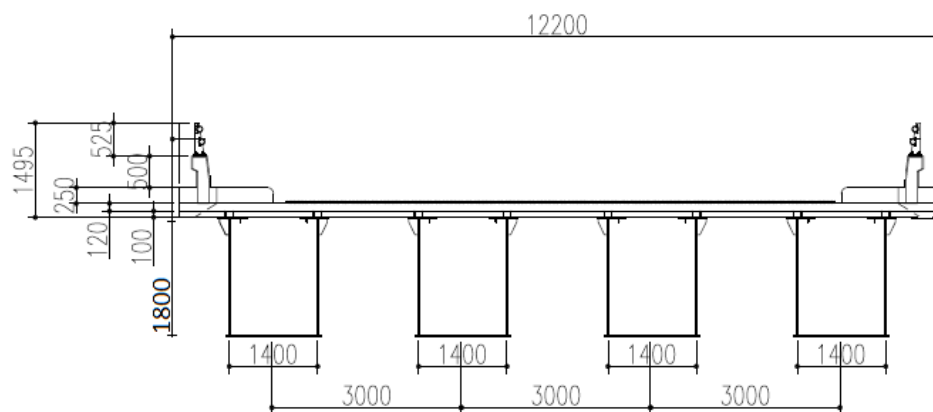
I. PENDAHULUAN

Melihat pesatnya perkembangan di masa ini, transportasi merupakan sarana yang menghubungkan antar daerah. Jembatan sebagai bagian dari prasarana transportasi untuk memperlancar pergerakan lalu lintas sehingga menjadi cepat, aman dan efisien. Jembatan adalah suatu konstruksi struktur yang berfungsi sebagai sarana penyebrangan untuk menghubungkan dua buah titik akses jalan yang terputus akibat rintangan-rintangan seperti jurang, lembah, dan aliran sungai [1]. Dalam usaha mendorong perkembangan perekonomian dan kegiatan masyarakat khususnya menyangkut masalah pengangkutan penumpang maupun hasil bumi dan industri, maka perlu adanya prasarana jalan dan jembatan yang memadai [2]. Jembatan merupakan struktur yang perlu direncanakan dengan baik agar dapat berfungsi dengan optimal [3]. Pada awalnya jembatan dibangun dengan sangat sederhana menggunakan material kayu. Namun, seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, jembatan mulai dibangun dengan menggunakan material beton, dan seiring dengan kemajuan teknologi terciptalah material komposit [4].

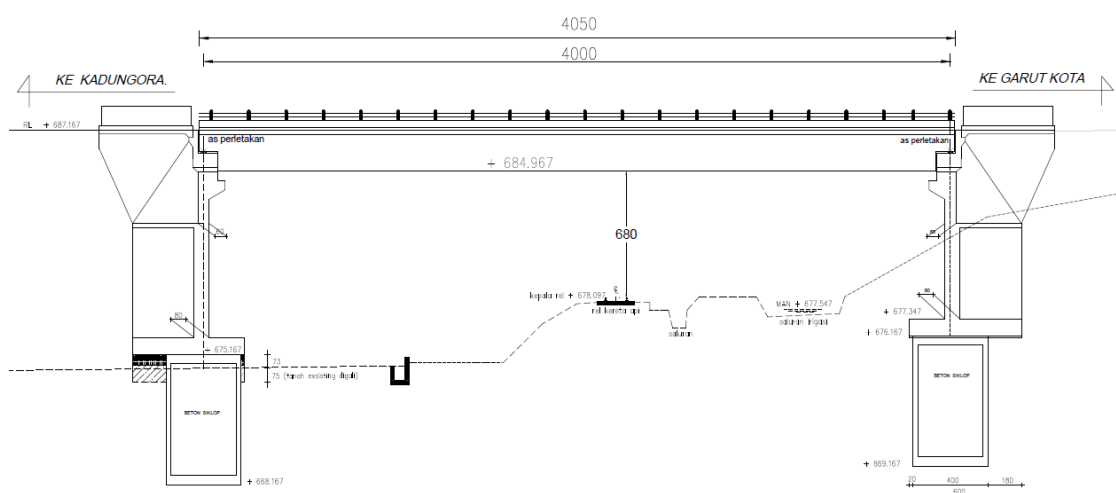
Dalam perencanaan jembatan, gelagar harus mampu menahan beban yang bekerja pada struktur jembatan. Gelagar yang direncanakan harus mampu menahan lenturan (*flexur*), kuat geser (*shear strength*) dan kelelahan (*fatigue*). Gelagar-gelagar baja yang membentang dalam arah longitudinal, diantara tumpuan-tumpuan

jembatan, dapat berupa penampang-penampang profil baja biasa. Penampang-penampang profil yang dilengkapi dengan pelat-pelat penutup, atau juga dapat berbentuk pelat-pelat gelagar yang sudah jadi [2]. *Box girder* pada konstruksi jembatan, umumnya digunakan pada konstruksi *flyover* (jalan layang perkotaan), *flyover* yang melengkung, dan jembatan dengan bentang yang panjang. *Box girder* memiliki daya lentur yang tinggi dan kekakuan terhadap torsi yang baik dibandingkan penampang I (*I-girder*). Bentuk yang tertutup akan mengurangi permukaan yang terbuka sehingga hal ini membuat tidak mudah terjadi korosi. Ada dua tipe *Box girder* baja: jembatan *Box girder* komposit (gelagar baja dengan pelat beton) dan gelagar baja kotak dengan pelat orthotropic. *Box girder* komposit mengasumsikan bahwa baja dan beton bekerjasama dalam memikul beban yang bekerja, sehingga akan menghasilkan desain profil/elemen yang lebih ekonomis. Selain itu struktur komposit juga mempunyai beberapa keunggulan diantaranya adalah lebih kuat dan lebih kaku dari struktur non-komposit[5]. Geleagar kotak beton prategang dalam desain lebih menguntungkan untuk bentang menerus dengan panjang bentang lebih dari 300 ft ($\geq 100\text{m}$) [6]. Sedangkan *box girder* tipe komposit umumnya digunakan untuk jembatan yang mempunyai bentang menengah (30-215 m) [7].

Steel Box Girder tipe komposit inilah yang digunakan dalam perencanaan jembatan *fly over* jalan alternatif Kadungora – Leles. Jembatan *fly over* jalan alternatif Kadungora – Leles ini merupakan jembatan pertama dan satu-satunya di Kabupaten Garut yang menggunakan tipe gelagar *steel box girder*. Disini penulis tertarik untuk menganalisis struktur gelagar *steel box girder* jembatan *fly over* jalan alternatif Kadungora – Leles.



Gambar 1: Dimensi Melintang Jembatan



Gambar 2: Dimensi Memanjang Jembatan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tegangan lentur yang terjadi pada struktur gelagar *fly over* jalan alternatif Kadungora-Leles dan mengetahui kekuatan nominal dari sambungan gelagar *fly over*

berdasarkan RSNI 03-1729-2002. Sedangkan batasan masalah dari penelitian ini adalah analisis hanya mencakup struktur gelagar *steel box girder*; analisis struktur gelagar menggunakan metode *Allowable Stress Design*, sambungan yang dianalisis adalah sambungan yang terletak pada jarak $x = 16$ meter dari ujung bentang. Selain itu, penelitian ini tidak menganalisa harga satuan dan merencanakan anggaran biaya (RAB) pembangunan, tidak meninjau metode pelaksanaan proyek secara keseluruhan, dan tidak menganalisis *shear connector*.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pembebanan Pada Jembatan

Pengolahan data yang pertama dilakukan adalah menghitung pembebanan pada jembatan. Berikut ini merupakan tahapan dalam menghitung pembebanan jembatan [8]:

- Menghitung berat sendiri (*self weight*)
- Menghitung beban mati tambahan
- Menghitung beban lajur "D"
- Menghitung beban truk "T"
- Menghitung gaya rem
- Menghitung beban angin
- Menghitung pengaruh temperatur
- Menghitung beban gempa
- Menentukan kombinasi pembebanan yang akan digunakan dalam analisis

B. Analisa Penampang Komposit

Setelah ditentukan kombinasi pembebanan yang terbesar, berikut tahapan analisis penampang komposit :

- Menghitung rasio modulus [9]:

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad \dots(1)$$

- Menghitung momen inersia penampang [9]:

$$I_x = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 + A \cdot dy^2 \quad \dots(2)$$

- Menghitung modulus penampang [9]:

$$W_a = \frac{I_x}{y_a} \quad \dots(3)$$

$$W_b = \frac{I_x}{y_b} \quad \dots(4)$$

- Menghitung tegangan lentur pada penampang [9]:

$$F_{atas} = \frac{M}{W_a} \quad \dots(5)$$

$$F_{bawah} = \frac{M}{W_b} \quad \dots(6)$$

- Menghitung tegangan izin penampang [10]:

$$\frac{f_y}{\text{faktor keamanan}} = \frac{f_y}{1,5} \quad \dots(7)$$

C. Analisa Sambungan Gelagar

Sambungan direncanakan berdasarkan perhitungan dengan tipe friksi, dan tebal plat sambung yaitu setebal plat gelagar masing-masing sebanyak dua buah.

1. Kekuatan pelat sambung flens [11].

$$F_f = \frac{M}{d+t_{pf}} \quad \dots(8)$$

- Kekuatan geser pelat sambung dapat diketahui oleh persamaan:

$$\text{Geser-Leleh} = \phi(f_y)(A_g) \quad \dots(9)$$

$$\text{Geser-Fraktur} = \phi(f_u)(A_n) \quad \dots(10)$$

- Kapasitas tahanan satu buah baut:

$$V_d = 1,13 \cdot \phi \cdot \mu \cdot m \cdot f_u^b \cdot A_b \quad \dots(11)$$

2. Kekuatan pelat sambung badan [11].

- dengan cara trial and error, carilah nilai ro.

$$P_n = R_i \times \sum \left(\frac{x_i}{d_i} \right) \quad \dots(12)$$

$$P_n = \frac{(R_i \sum d_i)}{(e+ro)} \quad \dots(13)$$

Kedua persamaan di atas harus bernilai sama.

- Tahanan geser dari konfigurasi baut pada sambungan didapatkan dari persamaan [11]:

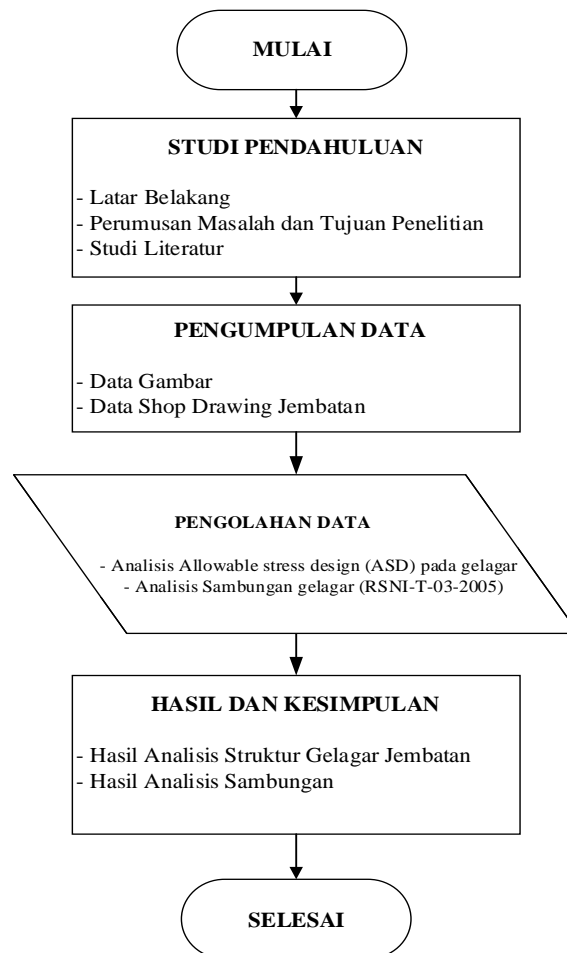
$$P_n = R_i \times \sum \left(\frac{x_i}{d_i} \right) \quad \dots(14)$$

- Kekuatan pelat sambung web terhadap geser didapatkan dari persamaan [11]:

$$\text{Geser - Leleh} = \phi(0,6f_y)A_g \quad \dots(15)$$

$$\text{Geser - Fraktur} = \phi(0,6f_u)A_n \quad \dots(16)$$

Berikut adalah diagram alir pada penelitian ini:



Gambar 3: Diagram Alir Penelitian

Metode yang digunakan dalam analisis struktur gelagar jembatan ini adalah dengan metode tegangan kerja (Allowable Stress Design). Analisis ini menganggap tegangan yang terjadi akibat beban layan tanpa beban

terfaktor yang dihitung berdasarkan teori elastis balok lentur, tidak melebihi tegangan izin yang ditetapkan. Tegangan izin ditetapkan sebagai kuat ultimate atau kuat leleh untuk baja yang dibagi dengan faktor keamanan [12]. Pembebanan pada jembatan mengacu pada Standar Pembebanan untuk Jembatan (SNI 1725:2016), sedangkan untuk analisis sambungan baut menggunakan Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan (RSNI T-03-2005).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Momen Kombinasi

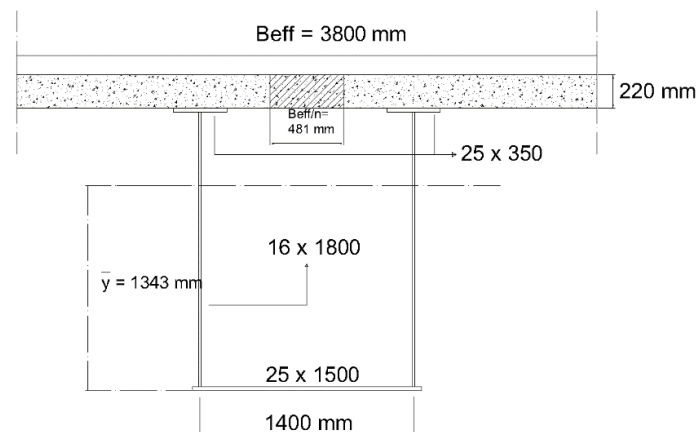
Setelah menghitung besaran gaya – gaya yang bekerja, kemudian hitung besaran reaksi momen kombinasi akibat gaya yang bekerja dengan nilai yang terbesar.

Tabel 1: Kombinasi Pembebanan

No	Jenis Beban	Faktor Beban	Momen (kNm)		
			Kombinasi 1	Kombinasi 2	Kombinasi 3
1	Beban sendiri (MS)	1	5603,2	5603,2	5603,2
2	Beban mati tambahan (MA)	1	1717,6	1717,6	1717,6
3	Beban lajur D (TD)	1	8591,8	8591,8	8591,8
4	Gaya rem (TB)	1	84,375	84,375	-
5	Beban angin (EW)	1	259,2	-	-
6	Pengaruh temperatur (ET)	1	-	178,2	-
7	Beban Gempa (EQ)	1	-	-	854
		Σ	16256,175	16175,175	16766,6

Dari tabel di atas didapatkan reaksi momen kombinasi sebesar 16766,6 kNm.

B. Analisa Penampang Komposit



Gambar 4: Penampang Gelagar Jembatan

Menghitung rasio modulus:

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{4700\sqrt{30}} = 7,9$$

Menghitung momen inersia penampang:

$$I_x = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 + A \cdot dy^2$$

$$= 136993194985 \text{ mm}^4$$

Menghitung modulus penampang:

$$W_a = \frac{I_x}{y_a} = \frac{136993194985}{727,1} = 188410390,57 \text{ m}^3$$

$$W_b = \frac{I_x}{y_b} = \frac{136993194985}{1342,9} = 102012953,29 \text{ m}^3$$

Menghitung tegangan lentur pada penampang:

1. Akibat berat sendiri gelagar dan diafragma, ditahan oleh penampang gelagar baja:

$$F_{\text{atas}} = \frac{(176780+10520)}{53714,5} = 348,7 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tekan)}$$

$$F_{\text{bawah}} = \frac{(176780+10520)}{76540,87} = 244,7 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tarik)}$$

2. Akibat berat lantai beton, ditahan oleh penampang gelagar:

$$F_{\text{atas}} = \frac{41800000}{53714,5} = 778,2 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tekan)}$$

$$F_{\text{bawah}} = \frac{41800000}{76540,87} = 546,113 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tarik)}$$

3. Akibat beban hidup ($q_L + p_L$), beban mati tambahan (q_{MA}), ditahan oleh penampang komposit

$$F_{\text{atas}} = \frac{85918000+17176000}{188410,4} = 547,177 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tekan)}$$

$$F_{\text{bawah}} = \frac{85918000+17176000}{102012,95} = 1010,6 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tarik)}$$

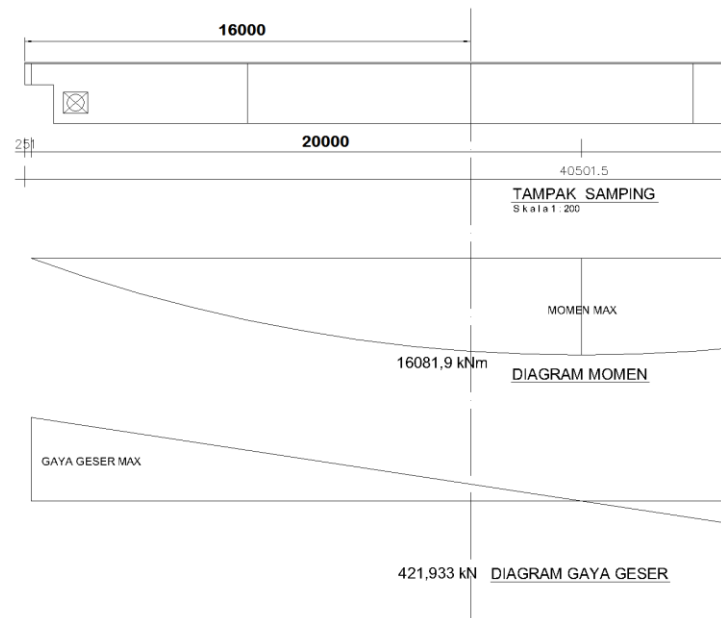
Tegangan akhir = $244,7 + 546,113 + 1010,597 = 1801,41 \text{ kg/cm}^2$

Menghitung tegangan izin penampang:

$$\frac{f_y}{\text{faktor keamanan}} = \frac{2900}{1,5} = 1933,33 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan akhir \leq tegangan izin ($1801,41 \leq 1933,33$) maka profil gelagar tersebut dapat dikatakan aman.

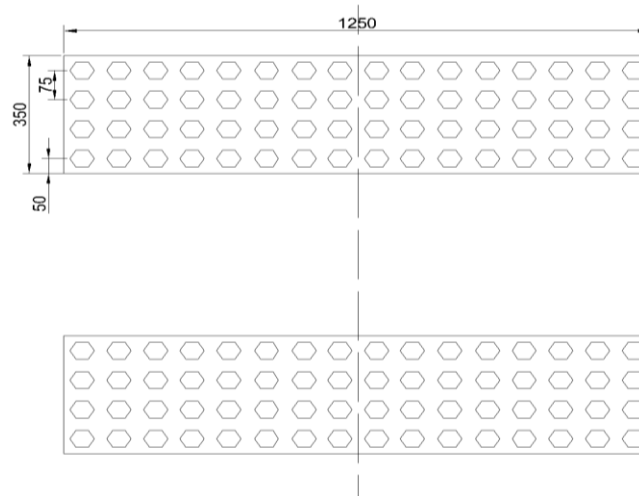
C. Analisa Sambungan



Gambar 5: Letak Sambungan yang dianalisis

Penyambungan bagian-bagian baja dilakukan dengan menggunakan baut mutu tinggi sesuai standar JIS B 1180 grade 8.8 ($f_y = 634 \text{ Mpa}$, $f_u = 827 \text{ Mpa}$) dengan diameter 24 mm yang telah digalvanisasi. Sambungan direncanakan berdasarkan perhitungan dengan tipe friksi, dan tebal plat sambung yaitu setebal plat gelagar masing-masing sebanyak dua buah. Sambungan yang akan dianalisis yaitu sambungan yang terletak pada jarak $x = 16$ meter dari ujung jembatan. Pada sambungan yang dianalisis terjadi reaksi momen sebesar 16081,9 kNm dan reaksi gaya geser sebesar 421,933 kN.

1. Pelat Sambung Flens



Gambar 6: Detail Pelat Sambung Flens

Reaksi momen yang terjadi pada titik sambungan yang dianalisis yaitu sebesar 16081,9 kNm, pelat sambung flens bagian bawah direncanakan dengan ukuran 1400 x 1360 x 25 mm dan berjumlah dua buah. kemudian dihitung gaya tarik pada pelat sambung flens.

$$F_f = \frac{M}{d + t_{pf}} = \frac{16081900000}{1850 + 25} = 8577013,333 \text{ N}$$

Kekuatan pelat harus diperiksa terlebih dahulu:

$$A_g = (25)(1400) = 35000 \text{ mm}^2$$

$$A_n = 35000 - 12((24+3)25) = 26900 \text{ mm}^2$$

$$\text{Geser-Leleh} = \phi(f_y)(A_g) = 0,9(290)(35000) = \mathbf{9135000 \text{ N}} \geq 8577013,333 \text{ N (Aman)}$$

$$\text{Geser-Fraktur} = \phi(f_u)(A_n) = 0,75(500)(26900) = 10087500 \text{ N}$$

Selanjutnya dihitung kapasitas tahanan satu buah baut.

Kuat Geser:

$$V_d = 1,13 \cdot \phi \cdot \mu \cdot m \cdot f_u^b \cdot A_b = 1,13(1)(0,35)(2)(827) \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 24^2 \right) = 295933,65 \text{ N}$$

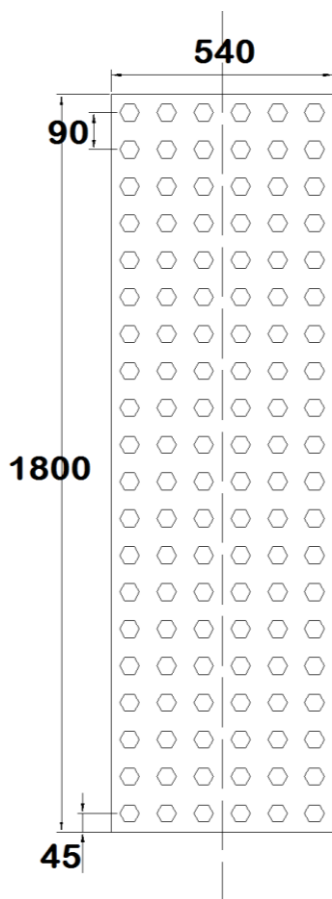
Dapat disimpulkan bahwa tahanan satu buah baut adalah sebesar 295933,65 N, dan jumlah baut yang dibutuhkan oleh pelat sambung flens bawah adalah:

$$\frac{8577013,333}{295933,654} = 28,98 \approx 30 \text{ buah baut} \leq 72$$

Setelah dilakukan peninjauan dari kekuatan pelat sambung dan jumlah baut pada sambungan, dapat disimpulkan bahwa sambungan pada pelat sambung flens bagian bawah ini aman.

2. Pelat Sambung Badan

Gaya geser yang harus dipikul oleh pelat sambung badan adalah sebesar 421,933 kN. Pada sambungan web digunakan dua buah pelat dengan ukuran 540 x 1800 x 16 mm.



Gambar 7: Detail Pelat Sambung Badan

Pada perencanaan digunakan baut ukuran 20 mm. Baut pada sambungan *web* ini berjumlah tiga buah dan disusun sebanyak 20 baris, sehingga pada setiap sisi sambungan terdapat 60 baut, jarak antar baut adalah 90 mm. Kemudian dihitung besarnya eksentrisitas:

$$e = 90 + 45 = 135 \text{ mm}$$

Tahanan geser baut :

$$\begin{aligned} R_i &= 1,13 \cdot \phi \cdot \mu \cdot m \cdot f_u^b \cdot A_b \\ &= 1,13(1)(0,35)(2)(827) \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 20^2 \right) \\ &= 205509,4 \text{ N} \end{aligned}$$

Kemudian dengan cara *trial and error*, dicoba nilai $r_o = 1948,58394 \text{ mm}$

No Baut	xi	yi	di	xi/di	No Baut	xi	yi	di	xi/di	
1	2038,584	855	2210,622	0,922177	31	1948,584	-45	1949,103	0,999733	
2	2038,584	765	2177,395	0,936249	32	1948,584	-135	1953,255	0,997609	
3	2038,584	675	2147,429	0,949314	33	1948,584	-225	1961,531	0,993399	
4	2038,584	585	2120,861	0,961206	34	1948,584	-315	1973,881	0,987184	
5	2038,584	495	2097,82	0,971763	35	1948,584	-405	1990,227	0,979076	
6	2038,584	405	2078,425	0,980831	36	1948,584	-495	2010,474	0,969216	
7	2038,584	315	2062,777	0,988272	37	1948,584	-585	2034,503	0,957769	
8	2038,584	225	2050,963	0,993964	38	1948,584	-675	2062,184	0,944913	
9	2038,584	135	2043,049	0,997814	39	1948,584	-765	2093,372	0,930835	
10	2038,584	45	2039,081	0,999756	40	1948,584	-855	2127,911	0,915726	
11	2038,584	-45	2039,081	0,999756	41	1858,584	855	2045,815	0,908481	
12	2038,584	-135	2043,049	0,997814	42	1858,584	765	2009,865	0,924731	
13	2038,584	-225	2050,963	0,993964	43	1858,584	675	1977,362	0,939931	
14	2038,584	-315	2062,777	0,988272	44	1858,584	585	1948,476	0,953865	
15	2038,584	-405	2078,425	0,980831	45	1858,584	495	1923,372	0,966315	
16	2038,584	-495	2097,82	0,971763	46	1858,584	405	1902,199	0,977071	
17	2038,584	-585	2120,861	0,961206	47	1858,584	315	1885,089	0,98594	
18	2038,584	-675	2147,429	0,949314	48	1858,584	225	1872,154	0,992752	
19	2038,584	-765	2177,395	0,936249	49	1858,584	135	1863,48	0,997372	
20	2038,584	-855	2210,622	0,922177	50	1858,584	45	1859,129	0,999707	
21	1948,584	855	2127,911	0,915726	51	1858,584	-45	1859,129	0,999707	
22	1948,584	765	2093,372	0,930835	52	1858,584	-135	1863,48	0,997372	
23	1948,584	675	2062,184	0,944913	53	1858,584	-225	1872,154	0,992752	
24	1948,584	585	2034,503	0,957769	54	1858,584	-315	1885,089	0,98594	
25	1948,584	495	2010,474	0,969216	55	1858,584	-405	1902,199	0,977071	
26	1948,584	405	1990,227	0,979076	56	1858,584	-495	1923,372	0,966315	
27	1948,584	315	1973,881	0,987184	57	1858,584	-585	1948,476	0,953865	
28	1948,584	225	1961,531	0,993399	58	1858,584	-675	1977,362	0,939931	
29	1948,584	135	1953,255	0,997609	59	1858,584	-765	2009,865	0,924731	
30	1948,584	45	1949,103	0,999733	60	1858,584	-855	2045,815	0,908481	
				Σ					120943,6	58,04595

Gambar 8: Tabel Pencarian Nilai r_o

Dari hasil tersebut diperoleh:

$$\text{Persamaan (12) } P_n = R_i \times \sum(x_i/d_i) = 205509,48 \times 58,04595 = 11928992,384 \text{ N}$$

$$\text{Persamaan (13) } P_n = \frac{(R_i \sum d_i)}{(e+r_o)} = \frac{(205509,48 \times 120943,604)}{(135+1948,58394)} = 11928992,48 \text{ N}$$

Karena nilai dari persamaan (12) dan (13) sudah sama, maka asumsi nilai r_o sudah benar.

Selanjutnya didapatkan nilai

$$P_n = R_i \times \sum(x_i/d_i) = 205509,48 \times 58,04595 = 11928992,384 \text{ N} = 11928,992 \text{ kN} \geq 421,933 \text{ kN}, \text{ artinya konfigurasi baut tersebut lebih dari cukup untuk memikul gaya geser yang bekerja.}$$

Kemudian periksa kekuatan pelat sambung *web* terhadap geser :

$$\begin{aligned} \text{Geser - Leleh} &= \phi(0,6f_y)A_g \\ &= 0,9(0,6 \times 290)(2 \times 16 \times 1800) \\ &= \mathbf{9020160 \text{ N}} > 421933 \text{ N (Aman)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Geser - Fraktur} &= \phi(0,6f_u)A_n \\ &= 0,75(0,6 \times 500)(2 \times 16 \times 1800 - (20(20 + 2)16)) \\ &= (225)(50560) = 11376000 \text{ N} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan kekuatan pelat sambung *web* terhadap geser adalah sebesar 9020160 N, yang mana lebih besar dari reaksi geser yang terjadi, sehingga dapat dikatakan pelat sambung *web* aman terhadap gaya geser.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis struktur gelagar jembatan Steel Box Girder pada jalan alternatif Kadungora-Leles, dapat disimpulkan bahwa struktur tersebut mengalami tegangan tarik sebesar 1801,41 kg/cm², yang masih berada di bawah batas tegangan ijin sebesar 1933,33 kg/cm². Lebih lanjut, analisis pada sambungan gelagar menunjukkan bahwa pelat sambung flens bagian bawah memiliki kapasitas geser-leleh sebesar 9135000 N (gaya tarik yang terjadi 8577013,3 N), sementara pelat sambung web memiliki kapasitas geser-leleh sebesar 9020160 N (gaya geser yang terjadi 421933 N)..

Dalam menghadapi kompleksitas analisis struktur jembatan, terdapat saran untuk penelitian selanjutnya. Penggunaan perangkat lunak khusus dapat menjadi pertimbangan yang penting untuk melakukan analisis struktur komponen jembatan dengan lebih detail. Dengan memanfaatkan teknologi perangkat lunak, penelitian dapat mendapatkan hasil yang lebih cepat dan akurat, membantu dalam perencanaan, perbaikan, atau pengembangan desain struktur jembatan secara lebih efisien dan efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Hafiz Abdillah, "Analisis Kekuatan Struktur Steel Box Girder Jalan Bebas Hambatan Tanjung Priok Seksi E2-A Terhadap Gempa," 2013.
- [2] N. A. Pohan, "Perencanaan Jembatan Steel Box Girder Berdasarkan AASHTO LRFD 1998 Perencanaan Jembatan Steel Box Girder Berdasarkan AASHTO LRFD 1998 Dan Aplikasi Program UTrap 2.0," 2009.
- [3] K. PUPR, "Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan," 2015.
- [4] M. Zebua, P. Studi, T. Sipil, F. Teknik, U. Muhammadiyah, and S. Utara, "Analisa Perbandingan Kekuatan Struktur Jembatan Menggunakan Gelagar I Terhadap Sistem Baja Prategang Sebagai Fungsi Jembatan Jalan Raya," 2019.
- [5] H. I. Hasudungan, "Fakultas Teknik Universitas Medan Area Medan Tahun 2020 Medan Tahun 2020," 2020.
- [6] Wiratama Adi Prasetya, Elvira, and Gatot Setya Budi, "Perhitungan Jembatan Layang (Flyover) Dengan Tipe Box Girder Beton Prategang (Prestressed Concrete) Untuk Pertemuan Jalan Mayor Aliyayang Dan Jalan Soekarno-Hatta Kabupaten Kubu Raya Wiratama," pp. 1–13.
- [7] W. A. Prasetya, "Perhitungan Jembatan Layang (Fly Over) Dengan Tipe Box Girder Prategang Untuk Pertemuan Jalan Mayor Aliyayang dan Jalan Soekarno-Hatta Kabupaten Kubu Raya," *PWK*, pp. 1–2, 2014.
- [8] S. M. D. A. B. Erki S, "Perencanaan Jembatan Steel Box Girder Tipe Komposit Dua Material Baja-Beton Dengan Dua Gelagar Seragam," *Jurnal Envirotek*, vol. 10, no. 2, pp. 18–26, 2018, doi: 10.33005/envirotek.v10i2.1230.
- [9] A. B. Utomo, A. B. Utama, and G. A. Taurano, "Tinjauan Mekanika Bahan pada Kekokohan Komponen Balok T Komposit," *BANGUN REKAPRIMA: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa, Sosial, dan Humaniora*, vol. 06, no. 1, pp. 27–33, 2020.
- [10] F. S. Dinita, "Perencanaan Gelagar Baja Profil WF Pada Jembatan Fly Over Jalan Alternatif Kadungora-Leles," 2019.
- [11] Agus Setiawan, *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD Berdasarkan SNI 03-1729-2002 Edisi Kedua*, Kedua. Jakarta: Penerbit Erlangga, 2013.
- [12] A. Yaqin, "Studi Perbandingan Struktur Baja Pada Pembangunan Terminal Bandara Bima dengan Metode ASD (Allowable Stress Design) dan Metode LRFD (Load And Resistance Factor Design)," 2021.