

PERENCANAAN JEMBATAN STEEL BOX GIRDER TIPE KOMPOSITE DUA MATERIAL BAJA-BETON DENGAN DUA GELAGAR SERAGAM

Sumaidi, Made D. Astawa, dan B. Erki S

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur
Email: sumaidiwijaya@gmail.com, masdawa@yahoo.com, erky.com@gmail.com

ABSTRAK

Jembatan Steel Box Girder merupakan alternatif jembatan untuk bentang panjang dan bergeometri lengkung. Jembatan ini memiliki daya tahan sangat tinggi terhadap lentur dan puntiran hingga 100 sampai 1000 kali lipat ketahanan gelagar girder tipe "I" (Helwig dkk., 2007). Proyek Jembatan Gunung Sari dengan bentang 100 meter didesain ulang menggunakan struktur utama memakai Steel Box Girder yang semula menggunakan Steel "I" Girder tipe rangka. Peraturan yang digunakan dalam menganalisa struktur Proyek Jembatan Steel Box Girder Gunung Sari memakai code / standart peraturan pembebanan yang terbaru. Struktur jembatan dianalisa pada 1 span jembatan dengan bentang 50 meter. Jembatan Steel Box Girder ini direncanakan memakai tipe komposit yaitu menggunakan perpaduan plat beton sebagai plat lantai kendaraan maka dihitung pula shear connector yang berada di antara gelagar Steel Box Girder dengan pelat beton agar pelat lantai terikat sempurna dengan Steel Box Girder. Hasil analisa struktur pada Jembatan Gunung Sari menghasilkan dimensi steel box girder dengan 2 gelagar uniform memakai external bracing setiap 10 meter dan internal bracing setiap 5 meter. Kapasitas struktur berupa momen nominal gelagar sebesar 13.746 kNm yang lebih besar dari Momen ultimit Akibat Beban Kombinasi sebesar 9.379,7 kNm dan Momen Terbesar Truk sebesar 8.107 kNm, berupa lendutan ijin sebesar 13,33 cm dan lendutan yang terjadi sebesar 4,78 cm pada profil tepi dan 5,42 cm pada profil tengah, dan shear connector pada Steel Box Girder berjumlah 3 buah setiap baris dengan diameter 19 mm memiliki jarak transversal 50 mm, 55 mm dan 60 mm serta jarak longitudinal sebesar 400 mm.

Kata kunci: *Steel Box Girder, Analisa Struktur, Pelat Komposit, Kapasitas Struktur, Shear Connector*

ABSTRACT

The Steel Box Girder Bridge is an alternative bridge for long spans and curved geometries bridges. This bridge has very high flexural resistant and torsional stiffness in the range of 100 to more than 1000 times larger than that of comparable Steel "I" Girder truss section (Helwig dkk., 2007). Gunung Sari Bridge project with a 100 meter length was re-designed using Steel Box Girder for main structure, which originally used Steel "I" Girder truss section. The assigned regulation for analyzing structure of Gunung

Sari Steel Box Girder Bridge project using the latest code / standart for bridge loading. This analysis placed on one span of the bridge with span 50 meter. This Steel Box Girder Bridge is designed to use a composite type that use a combination with concrete plate as a vehicle's floor plate, then shear connector between steel box girders and concrete plate must be calculated so the floor plate is perfectly bounded to steel box girder. The result of structural analysis on Gunung Sari Bridge project produced two uniform steel box girder using external bracing every 10 meters and internal bracing every 5 meters. The analysis result of structure capacity is Nominal Moment of bridge equal to 13.746 kNm which is greater than the ultimate moment due to combined load of 9.379,7 kNm and the largest moment of truck of 8.107 kNm, in the form of permitted deflection is equal to 13,33 cm, occured deflection of side profile is 4,78 cm and in the middle profile is 5,42 cm, and shear connector on steel box girder ammounted 3 pieces each a row of top flange box with 19 mm diameter and has a tranverse distance 50 mm, 55 mm and 60 mm and a longitudinal distance is 400 mm.

Keywords: *Steel Box Girder, Structure Analysis, Composite Plate, Structure Capacity, Shear Connector*

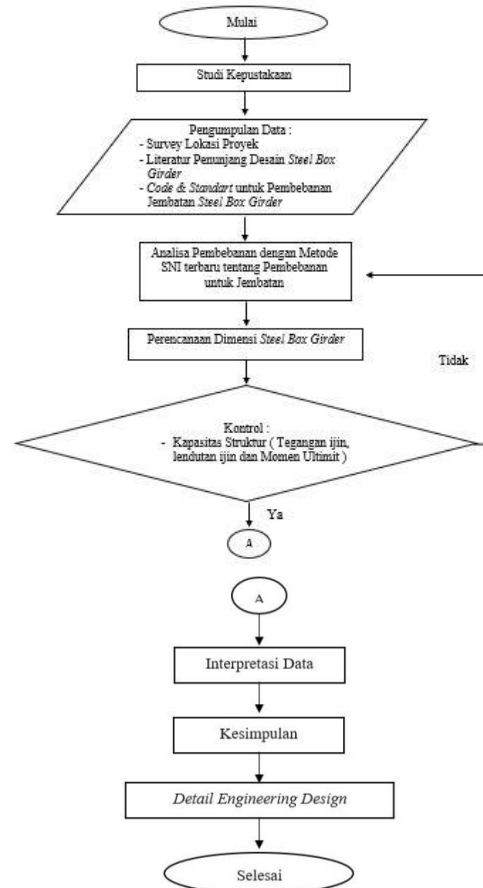
PENDAHULUAN

Struktur utama bangunan atas pada jembatan umumnya dapat menggunakan balok "I" girder atau box girder yang terbuat dari beton maupun baja. Salah satu struktur yang mulai berkembang penggunaannya adalah box girder. Jembatan box girder mulai dipertimbangkan untuk dibuat menjadi struktur gelagar pada konstruksi jembatan dikarenakan daya tahan box girder yang tinggi. Struktur lain di dalam jenis box girder adalah gelagar dengan berbahan baja yaitu steel box girder. Menurut Conrad (1983) bahwa struktur steel box girder memiliki beberapa elemen yang sangat menarik dilihat dengan kekakuannya menahan lentur yang sangat dibutuhkan pada jembatan bentang menengah ke panjang hingga jembatan bentang panjang yang melengkung.

METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir Analisa

Langkah-langkah dalam penyelesaian analisa jembatan steel box girder ini dapat dilihat pada Gambar -1 sebagai berikut:



Gambar -1: Flowchart Perencanaan

Pengumpulan Data

Data umum penelitian sebagai berikut

- a. Nama Proyek : Jembatan Gunung Sari
- b. Lokasi Proyek: Perumahan Gunung Sari Indah, Surabaya
- c. Fungsi Bangunan: Penghubung Perumahan
- d. Tipe Jembatan di Proyek: Jembatan Rangka dengan *Steel I Girder*
- e. Tipe Jembatan Re-desain: Jembatan *Steel Box Girder*
- f. Panjang Jalan :100 meter dengan 2 bentang

Pengolahan Data

Pembebanan Melintang Jembatan

Perhitungan untuk mencari Momen dengan beban terpusat (M_P), Momen dengan beban merata (M_Q), dan Momen akibat temperatur (M_T) dapat diperoleh dengan persamaan (1), (2), dan (3) sebagai berikut:

$$M_P = k \times P \times s \quad (1)$$

$$M_Q = k \times Q \times s^2 \quad (2)$$

$$M_T = k \times \alpha \times \Delta T \times E_c \times s^3 \quad (3)$$

Penulangan Slab Kendaraan dan Struktur Sekunder Jembatan

Setelah melakukan perhitungan melintang jembatan dan mendapatkan besaran momen, dapat dihitung kebutuhan luas tulangan (A_s) dalam penulangan pelat dan tiang sandaran menggunakan rumus berikut :

$$A_s = \rho \times b \times d \quad (4)$$

$$R_n = \left(\frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2} \right) \quad (5)$$

$$M_n = M_u / \phi \quad (6)$$

$$\rho =$$

$$0.85 \times \left(\frac{f_c'}{f_y} \right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0.85 \times f_c'}} \right) \quad (7)$$

Penentuan Dimensi *Steel Box Girder*

Untuk memilih dimensi *steel box girder*, panjang bentang perlu didesain dengan memenuhi syarat-syarat yang berlaku dalam AASHTO (2012) pasal 6.11.2.1 hingga 6.11.2.2. Dan untuk menentukan keperluan *bracing* ada pada jurnal *Steel /*

Concrete Composite Box Girder Bridges A Construction Manual, 1978, hal. 19.

Menggunakan persamaan berikut:

$$D / t_w \leq 150 \quad (8)$$

$$b_{tf} / 2t_{tf} \leq 12 \quad (9)$$

$$t_{tf} \geq 1,1 t_w \quad (10)$$

$$0,8 w < a < 1,2 w \quad (11)$$

$$A_b \geq 0,03 w \quad (12)$$

$$A_b > \frac{0,02 L B \cos \theta}{D^2} \quad (13)$$

Perhitungan Beban Mati dan Beban Hidup

Perhitungan beban mati dan hidup jembatan berdasarkan peraturan BMS (1992). Pembebanan akibat beban terburuk dari truk juga perlu dicari dan dihitung berdasarkan SNI 1725:2016 halaman 43.

Analisa Kapasitas Profil *Steel Box Girder*

Setelah mendapatkan hasil pembebanan akibat beban mati dan hidup dapat dicari momen tahanan profil yang akan menjadi momennominal (W_n) jembatan. Momenprofil atau W_{sbg} dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$C_{sbg} = \frac{\sum A_n Y_n}{\sum A_n} \quad (14)$$

$$I_x = \sum I + \sum A_n Y_n^2 \quad (15)$$

$$W_{sbg} = I_x / (D - C_{sbg}) \quad (16)$$

Analisa Tegangan pada Hubungan Komposit

Tegangan yang terjadi pada gelagar perlu dikoreksi agar tidak melebihi setiap kapasitas ijin yang berlaku. Perhitungan tegangan saat komposit bisa didapatkan dalam persamaan berikut:

$$Y / F_k = \{ (A_{sbg} \times C_{sbg}) + (A_{scon} \times C_{scon}) \} / \quad (17)$$

$$I_k = (I_{x0} + A_{sbg} \times (y - C_{sbg})^2 + 1/12 \times A_{scon} \times T_{scon}^2 + A_{scon} \times (C_{scon} - y)^2) \quad (18)$$

$$\sigma'c = M_{(DL+LL)} \times (Ht - y) / (I_k \times n) \quad (19)$$

$$\sigma'ci = 0,4 f'c \quad (20)$$

$$\tau'_{sb} = M_{(DL+LL)} \times (H - y) / (I_k) \quad (21)$$

$$F'yi = 0,66 \times f_y \quad (22)$$

Analisa Lendutan pada Jembatan

Kriteria deformasi pada jembatan baja yang memiliki jalur kendaraan dan tempat pejalan kaki yang berada pada kantilever adalah $L/375$ (AASHTO, 2012, pasal 2.5.2.6.2). Dengan ketentuan persamaan sebagai berikut :

$$W = \sum Q \times \phi / n \quad (23)$$

$$P = \sum P \times \phi / n \quad (24)$$

$$\Delta = \frac{5 \times W \times L^4}{384 \times E \times I_k} + \frac{P \times L^3}{48 \times E \times I_k} \quad (25)$$

Analisa Momen Lentur

Hubungan komposit antara gelagar *steel box girder* dan pelat beton bertulang perlu memenuhi syarat seperti pada AASHTO (2012) pasal D6.1 halaman 6-313, dengan persamaan sebagai berikut :

$$M_u + \frac{1}{3} \times 0,6 \times f_l \times S_{xt} \leq \phi \times M_n \quad (26)$$

$$M_n = M_p + \left[1,07 - 0,7 \frac{D_p}{D_t} \right] \quad (27)$$

$$S_{xt} = M_n / F_y \quad (28)$$

Pembebanan Struktur Utama Jembatan

Pembebanan jembatan pada struktur utama dapat melihat metode perhitungan pada SNI 1725:2016 dari bab 7 hingga bab 12 dengan acuan kaidah kombinasi beban pada Tabel 1 di halaman 11 dalam SNI 1725:2016 dan tabel 3.4.1.1 dalam AASHTO (2012) di halaman 3-13.

Kebutuhan Penghubung Geser Perhitungan Kebutuhan Shear Connector

Penghubung geser dijelaskan di AASHTO (2012) pada pasal 6.10.10 dan 6.11.10. Mencari kebutuhan penghubung geser, dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut :

$$S_b = A_{scon} \times (C_{scon} - y)^2 \quad (29)$$

$$f = \frac{V_{ult} \times S_b}{I_k} \quad (30)$$

$$H / Q < 5.5 \text{ maka } Q = 0.55 \times \phi^2 \sqrt{E_c \times f_c} \quad (31)$$

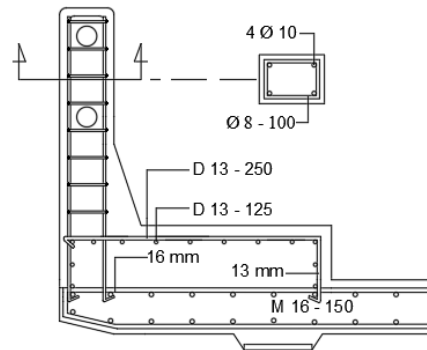
$$H / Q \geq 5.5 \text{ maka } Q = 0.10 \times H \times \phi \times \sqrt{E_c \times f_c} \quad (32)$$

$$S_1 = (n \times Q) / f_1 \quad (33)$$

$$S_{max} = 2 \times T_s \quad (34)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN Perhitungan Tulangan Jembatan

- a. Tulangan Trotoar
Menggunakan Tulangan Utama D 13 – 125 mm
Menggunakan Tulangan Longitudinal D 13 – 250 mm
- b. Tulangan Tiang Sandaran
Menggunakan Tulangan Utama 4 D 13
Menggunakan Tulangan Geser Ø 8 – 100 mm.

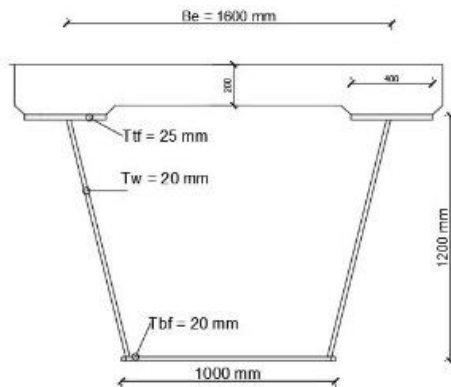


Gambar -2: Penulangan Jembatan

Tabel -1: Analisa Melintang Jembatan untuk Pembesian Struktur

No	Beban Pada	Jenis Beban	Keterangan			
			Mu tumpuan	Mu lapangan	Tulangan tumpuan	Tulangan lapangan
1.	Slab kendaraan	Berat sendiri slab	16,289	8,151	Mu = 73,04 kNm	Mu = 65,6 kNm
		Beban mati tambahan	1,7	2,44	As perlu = 1211,34 mm ²	As perlu = 1076,4 mm ²
		Beban truk "T"	54,08	54,08	Memakai wiremesh M16 - 150	
		Beban angin	0,876	0,876		
		Pengaruh temperatur	0,1008	0,0576	As w = 1341 mm ²	
		Mu total	73,0458	65,6046		
2.	Trotoar	Beban trotoar (Fms)	11,71 kN		Tulangan trotoar	Tulangan tiang sandaran
		Momen beban sendiri (Md)	6,83 kNm		Mu = 31,3 kNm	Mu = 2,4 kNm
		Momen beban hidup (Ml)	11,2 kNm			
		Momen ulimit 1,3 Md x 2 Ml	31,3 kNm		Tulangan pokok	Tulangan railing
					As perlu=992 mm ²	As perlu= 98 mm ²
		Momen tiang railing	2,3 kNm		Menggunakan D13 - 125 mm	Menggunakan 4D 10
					As = 1062 mm ²	As = 314 mm ²
			Tulangan longitudinal As perlu=496 mm ²	Tulangan geser railing Tulangan geser praktis		
			Menggunakan D13 - 250 mm	Ø 8 - 100 mm		
			As = 351 mm ²			

Perencanaan Gelagar Utama
Perencanaan Dimensi Gelagar Utama



Gambar -3: Perencanaan Dimensi Gelagar Utama

Perencanaan *steel box girder* :

- Lebar *Top Flange* = 400 mm
- Tebal *Top Flange* = 25 mm
- Lebar *Bottom Flange* = 1000 mm
- Tebal *Bottom Flange* = 20 mm
- Tinggi bersih box = 1200 mm
- Jumlah *steel box girder* = 2 buah
- jumlah *Top Flange* = 4 buah
- Jarak antar *Top Flange* = 1600 mm

Kontrol Tegangan dalam Hubungan Komposit

Tegangan dalam hubungan profil *steel box girder* dan beton bertulang yaitu σ'_{ci} untuk beton bertulang dan F'_{yi} untuk profil baja.

$\sigma'_{ci} = 0,4 f'c = 0,4 \times 25 = 10 \text{ MPa}$
 $F'_{yi} = 273,333 \text{ MPa}$

- a. Tegangan yang terjadi pada pelat beton bertulang
 - 1) Bending Moment pada pelat beton bagian tengah
 $M_{\text{beban}} = 15.397.843.750,00 \text{ Nmm}$
 $\sigma'c = 5,3 \text{ N/mm}^2 < \sigma'ci = 10 \text{ MPa}$
 - 2) Bending Moment pada pelat beton bagian tepi
 $M_{\text{beban}} = 13.076.968.750,00 \text{ Nmm}$
 $\sigma'c = 4,5 \text{ N/mm}^2 < \sigma'ci = 10 \text{ MPa}$
- b. Tegangan yang terjadi pada profil *steel box girder* tengah (SBG Tengah)
 - 1) Bagian atas profil
 $\tau'_{sb} = 0,82 \text{ N/mm}^2 < F'_{yi} = 273,33 \text{ MPa}$
 - 2) Bagian bawah profil
 $\tau'_{sb} = 221,58 \text{ N/mm}^2 < F'_{yi} = 273,33 \text{ MPa}$

c. Tegangan yang terjadi pada profil steel box girder tepi (SBG Tepi)

- 1) Bagian atas profil
 $\tau'_{sb} = 0,69 \text{ N/mm}^2 < F'_{yi} = 273,33 \text{ MPa}$
- 2) Bagian bawah profil
 $\tau'_{sb} = 188,18 \text{ N/mm}^2 < F'_{yi} = 273,33 \text{ MPa}$

Kontrol Lendutan dalam Hubungan Komposit

Lendutan sebuah jembatan perlu dicek agar tidak melebihi kapasitas lendutan ijinnya yang bernilai $L/375$ dari total bentang jembatan (AASHTO, 2012. Pasal 2.5.2.6.2).

$1/375 \times L = 13,33 \text{ cm}$

Jadi, lendutan jembatan akibat beban jembatan pada tabel tidak boleh melebihi 13,33 cm. Dengan nilai hasil analisa lendutan masing-masing bagian tengah dan tepi adalah 6,17 cm dan 5,44 cm.

Pembebanan Struktur Utama Jembatan Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri jembatan terdiri dari berat profil gelagar utama *steel box girder* $Q_{sbg} = 6,1073 \text{ kN/m}$ dan pelat beton bertulang $Q_{sb} = 8 \text{ kN/m}$.

Berat Mati Tambahan (MA)

Berat mati tambahan terdiri dari berat struktur sekunder $Q_{TDR} = 11,71 \text{ kN/m}$, lapisan air $Q_w = 0,8 \text{ kN/m}$ dan lapisan aspal $Q_{AS} = 1,76 \text{ kN/m}$.

Beban Truk "T" (TT)

Beban truk "T" terdiri dari Beban Terbagi Rata (BTR / *UDL*) sebesar 11,52 kN/m dan Beban Garis Terpusat (BGT / *KEL*) sebesar 109,76 kN.

Gaya Rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari 25% berat gandar truk desain atau 5% dari berat truk rencana ditambah Beban Terbagi Rata (BTR) (SNI 1725:2016, Hal 46).

Beban Pejalan Kaki (TP)

Semua komponen trotoar yang lebih besar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas $Q_{TP} = 5 \text{ kN/m}$.

Beban Temperatur Merata (EU)

Beban akibat temperatur yang seragam didapat dari subbab 4.1.6 dengan nilai $Q_{EU} = 0,084 \text{ kNm} / 1,6^2 \text{ m} = 0,03 \text{ kN/m}$.

Beban Angin (EW)

Beban angin untuk elevasi lebih tinggi dari 10.000 mm.

$$V_{DZ} = 117,23 \text{ km/jam}$$

Setelah itu dapat mencari P_{EW}

$$P_D = 0,0041 \text{ N/mm}^2$$

$$Q_{EW} = 4,1 \text{ kN/m}$$

Pengaruh Gempa (EQ)

Beban gempa ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons daktilitas (R_d) (SNI 1725:2016, Hal 58). Koefisien respons elastik didapat dari perkalian 3 faktor yaitu A, R dan S. Faktor A adalah akselerasi puncak PGA, Faktor R adalah respon batuan dasar dan faktor S adalah amplifikasi di permukaan sesuai tipe tanah (SNI 2833:2008 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan, Hal 7).

$$EQ = 66,56 \text{ kN/m}$$

Garis Pengaruh Lintang dan Momen Jembatan

Garis pengaruh lintang dan momen pada jembatan didapat setelah mengkombinasikan beban yang bekerja dengan aturan sesuai SNI tentang jembatan. Dalam subbab ini memakai 2 kombinasi yaitu Daya Layan I dan Ekstrem II, lalu diambil hasil yang terbesar

Tabel -2: Garis Pengaruh Lintang Kombinasi Daya Layan I

no	jarak (m)	Vma (kN)	Vms (kN)	Vbgt (kN)	Vbtr (kN)	Vtb (kN)	Vtp (kN)	VeU (kN)	Vew (kN)	Vt (kN)
1	0	372,31	356,75	219,52	576	645,5	125	0,75	30,75	2,3
2	1	357,42	342,48	215,13	552,96	619,68	120	0,72	29,52	2,2
3	2	342,52	328,21	210,74	529,92	593,86	115	0,69	28,29	2,1
4	3	327,63	313,94	206,35	506,88	568,04	110	0,66	27,06	2,0
5	4	312,74	299,67	201,96	483,84	542,22	105	0,63	25,83	1,9
6	5	297,85	285,4	197,57	460,8	516,4	100	0,6	24,6	1,8
7	6	282,95	271,13	193,18	437,76	490,58	95	0,57	23,37	1,7
8	7	268,06	256,86	188,79	414,72	464,76	90	0,54	22,14	1,7
9	8	253,17	242,59	184,4	391,68	438,94	85	0,51	20,91	1,6
10	9	238,28	228,32	180,01	368,64	413,12	80	0,48	19,68	1,5
11	10	223,38	214,05	175,62	345,6	387,3	75	0,45	18,45	1,4
12	11	208,49	199,78	171,23	322,56	361,48	70	0,42	17,22	1,3
13	12	193,6	185,51	166,84	299,52	335,66	65	0,39	15,99	1,2
14	13	178,71	171,24	162,44	276,48	309,84	60	0,36	14,76	1,1
15	14	163,82	156,97	158,05	253,44	284,02	55	0,33	13,53	1,0
16	15	148,92	142,7	153,66	230,4	258,2	50	0,3	12,3	99
17	16	134,03	128,43	149,27	207,36	232,38	45	0,27	11,07	90
18	17	119,14	114,16	144,88	184,32	206,56	40	0,24	9,84	81
19	18	104,25	99,89	140,49	161,28	180,74	35	0,21	8,61	73
20	19	89,35	85,62	136,1	138,24	154,92	30	0,18	7,38	64
21	20	74,46	71,35	131,71	115,2	129,1	25	0,15	6,15	55
22	21	59,57	57,08	127,32	92,16	103,28	20	0,12	4,92	46
23	22	44,68	42,81	122,93	69,12	77,46	15	0,09	3,69	37
24	23	29,78	28,54	118,54	46,08	51,64	10	0,06	2,46	28
25	24	14,89	14,27	114,15	23,04	25,82	5	0,03	1,23	19
26	25	0	0	109,76	0	0	0	0	0	10

Tabel -3: Garis Pengaruh Momen Kombinasi Daya Layan I

no	jarak (m)	Mma (kNm)	Mms (kNm)	Mbgt (kNm)	Mbtr (kNm)	Mtb (kNm)	Mtp (kNm)	Meu (kNm)	Mew (kNm)	M (kNm)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	365	350	215	564	633	123	1	30	2
3	2	715	685	421	1.106	1.239	240	1	59	4
4	3	1.050	1.006	619	1.624	1.820	353	2	87	6
5	4	1.370	1.313	808	2.120	2.375	460	3	113	8
6	5	1.675	1.605	988	2.592	2.905	563	3	138	10
7	6	1.966	1.884	1.159	3.041	3.408	660	4	162	1
8	7	2.241	2.148	1.322	3.468	3.886	753	5	185	1
9	8	2.502	2.397	1.475	3.871	4.338	840	5	207	1
10	9	2.748	2.633	1.620	4.251	4.764	923	6	227	1
11	10	2.978	2.854	1.756	4.608	5.164	1.000	6	246	1
12	11	3.194	3.061	1.883	4.942	5.538	1.073	6	264	1
13	12	3.395	3.254	2.002	5.253	5.887	1.140	7	280	2
14	13	3.582	3.432	2.112	5.541	6.210	1.203	7	296	2
15	14	3.753	3.596	2.213	5.806	6.507	1.260	8	310	2
16	15	3.909	3.746	2.305	6.048	6.778	1.313	8	323	2
17	16	4.051	3.881	2.388	6.267	7.023	1.360	8	335	2
18	17	4.177	4.003	2.463	6.463	7.243	1.403	8	345	2
19	18	4.289	4.110	2.529	6.636	7.436	1.440	9	354	2
20	19	4.386	4.203	2.586	6.785	7.604	1.473	9	362	2
21	20	4.468	4.281	2.634	6.912	7.746	1.500	9	369	2
22	21	4.535	4.345	2.674	7.016	7.862	1.523	9	375	2
23	22	4.587	4.395	2.704	7.096	7.953	1.540	9	379	2
24	23	4.624	4.431	2.726	7.154	8.017	1.553	9	382	2
25	24	4.646	4.452	2.740	7.188	8.056	1.560	9	384	2
26	25	4.654	4.459	2.744	7.200	8.069	1.563	9	384	2

Tabel -4: Garis Pengaruh Lintang Kombinasi Ekstrem II

no	jarak (m)	Vma (kN)	Vms (kN)	Vbgt (kN)	Vbtr (kN)	Vtb (kN)	Vtp (kN)	Veql (kN)	Vtotal (kN)
1	0,00	372,31	356,75	219,52	576,00	322,75	62,50	1.664,00	3.573,83
2	1,00	357,42	342,48	215,13	552,96	309,84	60,00	1.597,44	3.435,26
3	2,00	342,52	328,21	210,74	529,92	296,93	57,50	1.530,88	3.296,70
4	3,00	327,63	313,94	206,35	506,88	284,02	55,00	1.464,32	3.158,14
5	4,00	312,74	299,67	201,96	483,84	271,11	52,50	1.397,76	3.019,58
6	5,00	297,85	285,40	197,57	460,80	258,20	50,00	1.331,20	2.881,01
7	6,00	282,95	271,13	193,18	437,76	245,29	47,50	1.264,64	2.742,45
8	7,00	268,06	256,86	188,79	414,72	232,38	45,00	1.198,08	2.603,89
9	8,00	253,17	242,59	184,40	391,68	219,47	42,50	1.131,52	2.465,33
10	9,00	238,28	228,32	180,01	368,64	206,56	40,00	1.064,96	2.326,76
11	10,00	223,38	214,05	175,62	345,60	193,65	37,50	998,40	2.188,20
12	11,00	208,49	199,78	171,23	322,56	180,74	35,00	931,84	2.049,64
13	12,00	193,60	185,51	166,84	299,52	167,83	32,50	865,28	1.911,08
14	13,00	178,71	171,24	162,44	276,48	154,92	30,00	798,72	1.772,51
15	14,00	163,82	156,97	158,05	253,44	142,01	27,50	732,16	1.633,95
16	15,00	148,92	142,70	153,66	230,40	129,10	25,00	665,60	1.495,39
17	16,00	134,03	128,43	149,27	207,36	116,19	22,50	599,04	1.356,82
18	17,00	119,14	114,16	144,88	184,32	103,28	20,00	532,48	1.218,26
19	18,00	104,25	99,89	140,49	161,28	90,37	17,50	465,92	1.079,70
20	19,00	89,35	85,62	136,10	138,24	77,46	15,00	399,36	941,14
21	20,00	74,46	71,35	131,71	115,20	64,55	12,50	332,80	802,57
22	21,00	59,57	57,08	127,32	92,16	51,64	10,00	266,24	664,01
23	22,00	44,68	42,81	122,93	69,12	38,73	7,50	199,68	525,45
24	23,00	29,78	28,54	118,54	46,08	25,82	5,00	133,12	386,89
25	24,00	14,89	14,27	114,15	23,04	12,91	2,50	66,56	248,32
26	25,00	0,00	0,00	109,76	0,00	0,00	0,00	0,00	109,76

Tabel -5: Garis Pengaruh Momen Kombinasi Ekstrem II

no	jarak (m)	Mma (kNm)	Mms (kNm)	Mbgt (kNm)	Mbtr (kNm)	Mtb (kNm)	Mtp (kNm)	Meql (kNm)	Mtotal (kNm)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	365	350	215	564	316	61	1.631	3.502
3	2	715	685	421	1.106	620	120	3.195	6.862
4	3	1.050	1.006	619	1.624	910	176	4.692	10.078
5	4	1.370	1.313	808	2.120	1.188	230	6.124	13.152
6	5	1.675	1.605	988	2.592	1.452	281	7.488	16.082
7	6	1.966	1.884	1.159	3.041	1.704	330	8.786	18.870
8	7	2.241	2.148	1.322	3.468	1.943	376	10.017	21.514
9	8	2.502	2.397	1.475	3.871	2.169	420	11.182	24.016
10	9	2.748	2.633	1.620	4.251	2.382	461	12.280	26.375
11	10	2.978	2.854	1.756	4.608	2.582	500	13.312	28.591
12	11	3.194	3.061	1.883	4.942	2.769	536	14.277	30.663
13	12	3.395	3.254	2.002	5.253	2.943	570	15.176	32.593
14	13	3.582	3.432	2.112	5.541	3.105	601	16.008	34.380
15	14	3.753	3.596	2.213	5.806	3.253	630	16.773	36.024
16	15	3.909	3.746	2.305	6.048	3.389	656	17.472	37.525
17	16	4.051	3.881	2.388	6.267	3.512	680	18.104	38.883
18	17	4.177	4.003	2.463	6.463	3.621	701	18.670	40.098
19	18	4.289	4.110	2.529	6.636	3.718	720	19.169	41.170
20	19	4.386	4.203	2.586	6.785	3.802	736	19.602	42.100
21	20	4.468	4.281	2.634	6.912	3.873	750	19.968	42.886
22	21	4.535	4.345	2.674	7.016	3.931	761	20.268	43.529
23	22	4.587	4.395	2.704	7.096	3.976	770	20.500	44.030
24	23	4.624	4.431	2.726	7.154	4.009	776	20.667	44.387
25	24	4.646	4.452	2.740	7.188	4.028	780	20.767	44.601
26	25	4.654	4.459	2.744	7.200	4.034	781	20.800	44.673

Jadi, yang digunakan untuk menentukan kebutuhan sambungan adalah kombinasi Ekstrem II, dengan grafik garis pengaruh sebagai berikut.

Menghitung Kekuatan Shear Connector
 Hasil dari perhitungan kombinasi beban dan garis pengaruh akan mempengaruhi jumlah, kekuatan dan kebutuhan *shear connector*. Untuk mencari kebutuhan *shear connector* dicari terlebih dahulu aliran geser (f), Kekuatan Tahanan 1 (satu) Buah " *stud Connector* " (Q) dan Jarak antara "*Shear Connector*" (S₁).

Tabel -6: Kebutuhan Penghubung Geser

Daerah Segmen	Stud No	Jarak X (mm)	H mm	D mm	Q N	Vtot N	f _t N/mm	n buah	S ₁ mm	S _{max} mm
Segmen Pertama = 8m	1	0	150	19	152.185,69	3.573.827,50	942.007,80	3	-	-
	2	1.000	150	19	152.185,69	3.435.264,80	905.484,73	3	12,36	400,00
	3	2.000	150	19	152.185,69	3.296.702,10	868.961,67	3	12,86	400,00
	4	3.000	150	19	152.185,69	3.158.139,40	832.438,60	3	13,42	400,00
	5	4.000	150	19	152.185,69	3.019.576,70	795.915,53	3	14,02	400,00
	6	5.000	150	19	152.185,69	2.881.014,00	759.392,46	3	14,68	400,00
	7	6.000	150	19	152.185,69	2.742.451,30	722.869,39	3	15,40	400,00
	8	7.000	150	19	152.185,69	2.603.888,60	686.346,33	3	16,20	400,00
	9	8.000	150	19	152.185,69	2.465.325,90	649.823,26	3	17,08	400,00
Segmen Kedua = 6 m	10	9.000	150	19	152.185,69	2.326.763,20	613.300,19	3	18,07	400,00
	11	10.000	150	19	152.185,69	2.188.200,50	576.777,12	3	19,18	400,00
	12	11.000	150	19	152.185,69	2.049.637,80	540.254,06	3	20,44	400,00
	13	12.000	150	19	152.185,69	1.911.075,10	503.730,99	3	21,87	400,00
	14	13.000	150	19	152.185,69	1.772.512,40	467.207,92	3	23,51	400,00
	15	14.000	150	19	152.185,69	1.633.949,70	430.684,85	3	25,42	400,00
	16	15.000	150	19	152.185,69	1.495.387,00	394.161,78	3	27,68	400,00
	17	16.000	150	19	152.185,69	1.356.824,30	357.638,72	3	30,36	400,00
	18	17.000	150	19	152.185,69	1.218.261,60	321.115,65	3	33,63	400,00
Segmen Ketiga = 5 m	19	18.000	150	19	152.185,69	1.079.698,90	284.592,58	3	37,69	400,00
	20	19.000	150	19	152.185,69	941.136,20	248.069,51	3	42,86	400,00
	21	20.000	150	19	152.185,69	802.573,50	211.546,44	3	49,67	400,00
	22	21.000	150	19	152.185,69	664.010,80	175.023,38	3	59,05	400,00
	23	22.000	150	19	152.185,69	525.448,10	138.500,31	3	72,81	400,00
	24	23.000	150	19	152.185,69	386.885,40	101.977,24	3	94,93	400,00
	25	24.000	150	19	152.185,69	248.322,70	65.454,17	3	136,34	400,00
	26	25.000	150	19	152.185,69	109.760,00	28.931,10	3	241,86	400,00

Interpretasi Data Hasil Analisa

Setelah melakukan semua perhitungan, di subbab ini akan merekapitulasi hasil keseluruhan analisis dan kaitan satu sama lain dalam perhitungan untuk menjawab rumusan permasalahan.

1. Setelah melakukan analisa struktur jembatan *steel box girder* didapatkan dimensi gelagar *Steel box girder (twin)* dengan tebal *web* $t_w = 20$ mm, tebal *top flange* $t_{tf} = 20$ mm, tebal *bottom flange* $t_{bf} = 20$ mm, tinggi *web* $h_w = 1,2$ m, lebar *bottom flange* $w_{bf} = 1$ m dan lebar *top flange* $t_{tf} = 400$ mm. *Internal bracing* dengan jarak setiap 5 m dan menggunakan profil siku \perp 60.60.10. *Eksternal bracing* dengan jarak setiap 10 m dan menggunakan profil siku \perp 60.60.10. *Top Lateral Truss bracing* berada diantara *internal bracing* dengan jarak 5 m dan menggunakan profil siku \perp 100.100.10.
2. Momen nominal *steel box girder* sebesar 13.746 kNm mampu

menerima momen ultimit akibat beban kombinasi sebesar 9.379,7 kNm dan momen terbesar truk sebesar 8.107 kNm. Tegangan ijin pada *Top Flange* sebesar 273,33 MPa lebih besar dari tegangan yang terjadi *Top Flange* tengah 162,67 MPa dan *Top Flange* tepi 250,75 MPa. Pelat beton bagiantengah dan tepi memiliki tegangan sebesar 5,3 MPa dan 4,5 MPa tidak melebihi tegangan ijin sebesar 10 MPa. Gelagar bagiantengah atas, tengah bawah, tepi atas dan tepi bawah memiliki tegangan sebesar 0,82 MPa, 221,58 MPa, 0,69 MPa dan 188,18 MPa tidak melebihi tegangan ijin sebesar 273,33 MPa. Lendutan profil gelagar tengah dan tepi sebesar 5,42 cm dan 4,78 cm tidak melebihi lendutan ijin sebesar 13,33 cm. Kapasitas momen nominal jembatan saat plastis pada hubungan komposit sebesar 12.414 kNm lebih besar dari momen ultimit sebesar 8.873 kNm.

3. *Shear connector* dengan stud diameter 19 mm dan tinggi 150 mm dan jarak *transversal* setiap stud adalah 50 mm,55 mm dan 60 mm dan jarak *longitudinal* adalah 400 mm. Dengan kuat nominal 1 *stud* adalah 152.185,69 N.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa perhitungan dalam perancangan struktur atas menggunakan gelagar *steel box girder*, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Setelah melakukan analisa struktur jembatan *steel box girder* didapatkan dua gelagar *Steel box girder* (*twin*) sebagai struktur utama. Memakai *internal bracing* dengan jarak setiap 5 meter dan *eksternal bracing* dengan jarak setiap 10 meter.
2. Momen nominal *steel box girder* sebesar 13.746 kNm mampu menerima momen ultimit akibat beban kombinasi sebesar 9.379,7 kNm dan momen terbesar truk sebesar 8.107 kNm. Lendutan profil gelagar tengah dan tepi sebesar 5,42 cm dan 4,78 cm

tidak melebihi lendutan ijin sebesar 13,33 cm.

3. *Shear connector* dengan stud diameter 19 mm, tinggi 150 mm, jarak *transversal* adalah 50 mm,55 mm dan 60 mm, dan jarak *longitudinal* adalah 400 mm.

Saran

Dalam perancangan struktur atas jembatan *steel box girder*, terdapat beberapa saran sebagai berikut :

1. Diperlukan kajian lebih lanjut mengenai analisis jembatan *steel box girder* dalam menentukan pembebanan aktual di lapangan maupun berdasarkan *code* dan *standart* yang berlaku, pengetahuan tentang penggunaan *software* yang lebih *advance* serta detil dan pemahaman tentang perilaku struktur baja akibat lingkungan sekitarnya.
2. Dalam melakukan perhitungan sebaiknya lebih dipersiapkan untuk mendapatkan lebih banyak data riil dan relevan dari proyek maupun bangunan asli, agar mendapatkan hasil yang mendekati realita.
3. Jika sulit untuk mendapatkan beberapa data untuk melakukan perhitungan disebabkan kurangnya data dan referensi, gunakan data dari *code* dan *standart* yang terdapat dalam lingkup perhitungan tersebut.
4. Diupayakan untuk benar-benar memahami lebih dalam tentang *code* dan *standart* yang berlaku agar mendapatkan hasil yang maksimal dan memiliki pegangan utama dikala hasil perhitungan dipertanyakan.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (2012). *LRFD Bridge Design Specification*. Washington DC, USA.
- BSN. (2008). SNI 2833:2008 Standar perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta, Indonesia.
- BSN. (2013). SNI 2847:2013 Persyaratan beton struktural untuk bangunan

- gedung. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta, Indonesia.
- BSN. (2016). SNI 1725:2016 Pembebanan Jembatan. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta, Indonesia.
- Conrad, P. Heins. (1983). *Steel Box Girder Bridges-Design Guides & Methods. Institute for Physical Science and Technology and Civil Engineering Department. University of Maryland. Maryland, USA.*
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (1992).. Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (*Bridge Management System*). Departemen Pekerjaan Umum, Indonesia.
- Helwig, Todd., Yura, Joseph., Hertman, Reagan., Williamson, Eric dan Li, Dawei. (2007). *Design Guidelines For Steel Trapezoidal Box Girder Systems*. Texas Department of Transportation, Austin, USA.
- Kim, Kyungsik dan Yoo, Chai H. (2006). *Brace Forces in Steel Box Girders with Single Diagonal Lateral Bracing Systems*. American Society of Civil Engineering. USA.
- Patel, Purvik. (2009). *LRFD Design of Double Composite Box Girder Bridges*. University of South Florida. USA.
- Segui, William . (2007). *Steel Design– Fourth Edition*. Thomson Canada Limited. USA.
- Teixeira, Manuel Maria. (2011). *Study of Bridges with Composite Steel-Concrete Bock Girder Decks*. Universidade de Lisboa. Portugal
- Timoshenko, S. (1940). *Strength of Materials – Part 1 Elementary Theory and Problems*. D. Van Nostrand Company, Inc. USA.
- Unites States Steel (USS). (1978). *Steel / Concrete Composite Box Girder Bridges A Construction Manual*. USA.
- Wolchuk, Roman. (1981). *Design Rules for Steel Box Girder Bridges*. IVBH Abhandlungen, Swiss.