

PERANCANGAN SUPERSTRUCTURE JEMBATAN KERETA API BENTANG 100 METER TIPE RANGKA BAJA

Oleh:

Aditya Wahyu Erlangga, API Madiun, Email: aditya@api.ac.id
Dadang Sanjaya Atmaja, API Madiun, Email: dadang@api.ac.id
Puspita Dewi, API Madiun, Email: puspita@api.ac.id

ABSTRACT

This study discusses long bridge superstructure planning. The reference used for the design of the bridge is the Regulation of the Minister of Transportation No. 60 of 2012 on Technical Requirements of Railways, AREMA and the rules of the European Union. The loading of the superstructure of the railway bridge includes dead load, live load, shock load, horizontal load, and wind load. This bridge profile needs analysis using the influence line method with SAP 2000 application. The result of superstructure analysis of 100 meter railway bridge type of lower truss frame shows that the size for structure profile, stringer, and cross girder must be specially designed by utilizing SM400 type steel plate with welding. From the analysis result, the working force of stringer is 1618,74 kN with a deflection of 11,58 mm; Force on a transverse girder of 2348.16 kN; Upperchord of 6340.45 kN; Lower Frame (Lowerchord) of 7441.33 kN; And members in the amount of 5599.48 kN. Of the styles are designed profiles as follows: 1 UFLG 105 x 2.5; 2WEB 80 x 2.5; 1 UFLG 80 x 2.5 for lowerchord, 1 UFLG 105 x 3.6; 2WEB 80 x 2.5; 1 UFLG 80 x 3.6 for upperchord and WF 72X x 80 x 2 x 2 For diagonal member.

Keywords: Steel Frame, Bridge of Long Distance, Steel Profile

ABSTRAKSI

Penelitian ini membahas perancangan superstructure jembatan kereta api bentang panjang. Acuan yang dipergunakan untuk perancangan jembatan adalah Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, AREMA dan aturan dari European Union. Pembebanan yang terjadi pada superstructure jembatan kereta api antara lain beban mati, beban hidup, beban kejut, beban horizontal, dan beban angin. Analisis kebutuhan profil jembatan ini menggunakan metode garis pengaruh dengan aplikasi SAP2000. Hasil analisis superstructure jembatan kereta api bentang 100 meter tipe rangka lalu lintas bawah menunjukkan bahwa kebutuhan akan profil rangka, stringer, dan gelagar melintang harus didesain khusus dengan memanfaatkan pelat baja tipe SM400 dengan pengelasan. Dari hasil analisis diperoleh gaya yang bekerja pada stringer sebesar 1618,74 kN dengan lendutan sebesar 11,58 mm; gaya yang bekerja pada gelagar melintang sebesar 2348,16 kN; Rangka Atas (Upperchord) sebesar 6340,45 kN; Rangka Bawah (Lowerchord) sebesar 7441,33 kN; dan member dalam sebesar 5599,48 kN. Dari gaya-gaya tersebut dirancang profil sebagai berikut: 1 UFLG 105 x 2,5; 2WEB 80 x 2,5; 1 UFLG 80 x 2,5 untuk lowerchord, 1 UFLG 105 x 3,6; 2WEB 80 x 2,5; 1 UFLG 80 x 3,6 untuk upperchord dan WF 72X x 80 x 2 x 2 untuk diagonal member.

Kata Kunci: Rangka Baja, Jembatan Bentang Panjang, Profil Baja

1 PENDAHULUAN

Perencanaan dan perancangan struktur jembatan merupakan kegiatan yang sangat penting dalam pembangunan jembatan kereta api. Untuk kasus-kasus jembatan bentang panjang, yang lebih dari 50 meter, belum banyak studi-studi yang melakukan pembahasan tentang perancangan jembatan kereta api bentang panjang padahal banyak wilayah di Indonesia yang membutuhkan jembatan dengan ukuran lebih dari 50 meter.

Pada tulisan ini penulis mencoba memberikan perancangan jembatan kereta api tipe rangka baja lalu lintas bawah dengan bentang 100 meter. Baja dipergunakan sebagai bahan pembangun jembatan kereta api dikarenakan berbagai keunggulannya.

1.1 Perumusan Masalah

Penelitian ini akan menjawab beberapa hal sebagai berikut:

- d. Apa saja beban yang mempengaruhi perancangan struktur atas jembatan?
- e. Bagaimana bentuk struktur rangka baja yang dirancang untuk jembatan?
- f. Apakah desain jembatan yang dirancang telah memenuhi standar-standar yang berlaku?

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- d. Menerapkan dasar-dasar teori tentang baja dan konstruksinya dalam proses perancangan struktur rangka jembatan;
- e. Memahami dasar-dasar perencanaan sebuah jembatan sesuai dengan standar yang berlaku;
- f. Memahami dan menerapkan dasar-dasar perencanaan jalan rel sebagai pendukung bangunan jembatan;
- g. Mampu membuat desain sebagai salah satu alternative dalam perancangan jembatan dengan bentang serupa.

2 KAJIAN PUSTAKA

Jembatan baja berdinding penuh memberikan keuntungan seperti yang diberikan oleh

jembatan yang mempunyai konstruksi sederhana, diantaranya biaya pembuatan tetap terbatas dan pemeliharaan sangat mudah.

Pada jembatan dengan ukuran panjang lebih dari 30 m, untuk jembatan di atas dua titik tumpuan dan pada bentangan lebih dari 40 m untuk jembatan-jembatan dengan lebih dari dua titik tumpu, maka menggunakan gelagar-gelagar dinding penuh tidak lagi menguntungkan, sehingga beralihlah kepada pembuatan gelagar-gelagar rangka (Struyk, 1995).

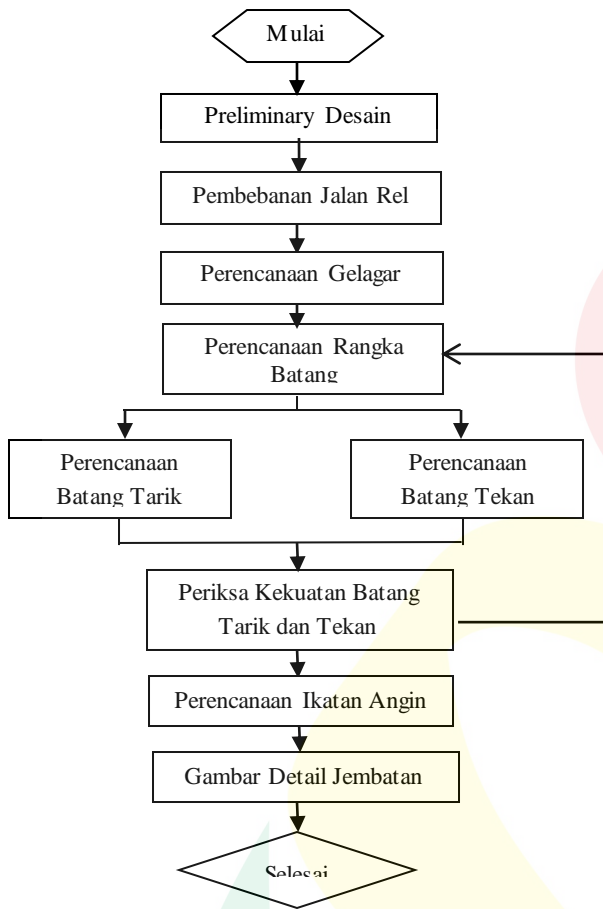
Rangka adalah struktur yang menghubungkan beberapa bagian untuk membentuk struktur. Anggota/members rangka diatur dalam segitiga yang saling berhubungan sehingga memikul beban dengan tekan dan Tarik. Jenis struktur rangka ini sering digunakan untuk bentang panjang. Akan tetapi jembatan rangka tidak banyak dipergunakan lagi pada masa ini. Saat ini struktur rangka lebih sering dipergunakan untuk rangka atap gedung dan stadium, pada tower, konstruksi crane, dan struktur sejenis lainnya. (Ressler 2001)

Perencanaan jembatan rangka baja disesuaikan dengan jenis rangka serta sifat-sifat yang paling penting seperti kekuatan (strength) yang tinggi, keliatan (ductility) serta ketahanan (durability) serta sifat mekanik seperti tegangan leleh dan tegangan putusnya. Perencanaan jembatan baja juga memperhatikan karakteristik jalan rel seperti beban kereta penumpang dan barang serta ruang bebas yang harus dipenuhi.

Pada penelitian ini penulis menggunakan metode desain struktur Allowable Stress Design (ASD) yang menyatakan bahwa kekuatan dan kekakuan struktur didesain lebih kecil atau sama dengan kekuatan dan kekakuan yang diizinkan bekerja pada material, metode ini juga dikenal sebagai metoda desain elastik atau working stress design.

3 METODE PENELITIAN

Diagram alir perencanaan struktur atas jembatan kereta api ini sebagai berikut:



Gambar 1 Diagram Penelitian

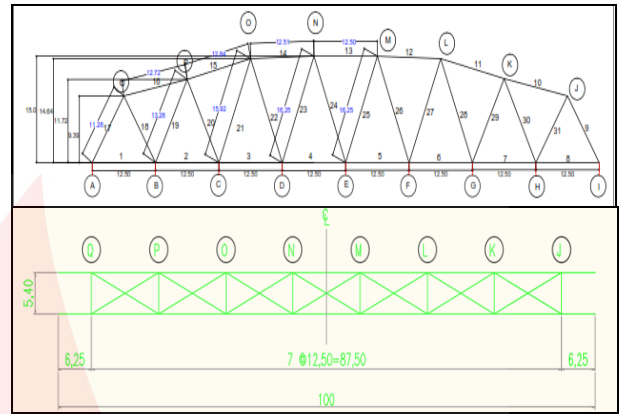
4 ANALISIS

4.1 Preliminary Design

Berdasarkan hasil studi literature diperoleh desain rencana jembatan sebagai berikut:

Tabel 1 Desain Rencana Jembatan

KRITERIA DESAIN	NILAI
Jumlah Pembagian Bentang (Asumsi) (n)	: 8
Panjang Total Bentang (ΣL)	: 100 m
Panjang Bentang (ΣL / n) (L)	: 12,5 m
Puncak Tertinggi = 1,25 x L	: 15,62m/15m
Puncak Tertinggi ke 2 = 1,125 x L	: 14,06 m
Puncak Tertinggi ke 3	: 11,72 m
$(1,125 - ((1,125 - 0,75) / 2)) \times L$: 9,4 m
Puncak Terendah = 0,75 x L	: 9,4 m
Lebar Jembatan	: 5,4 m
Jarak antar gelagar memanjang	: 1,3 m
Jarak antar gelagar melintang	: 12,5 m
Berat Jenis Baja	: 78,5 kN/m ³
Tegangan Leleh Baja SM490 (≥16mm)	: 3550 kg/cm ²
Tegangan Leleh Baja SM400 (≥16mm)	: 2350 kg/cm ²



Gambar 2 Desain Jembatan

4.2 Pembebanan Jalan Rel

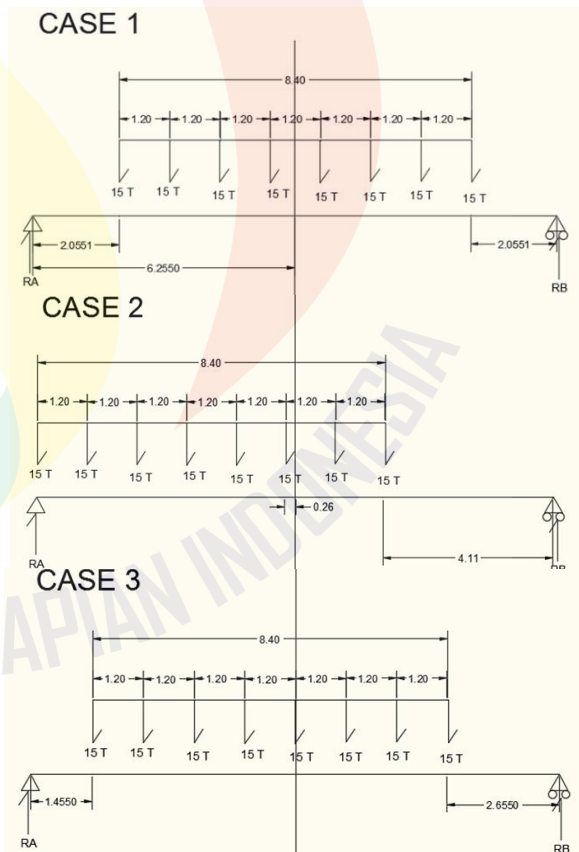
Dengan menggunakan Rel R54, penambat elastic ganda, serta bantalan kayu didapatkan pembebanan merata jalan rel sebesar:

$$Q_{Rel} = \Sigma \text{beban jln rel} / (1 \text{ stringer} \times p \text{ stringer})$$

$$Q_{Rel} = 206,98 \text{ kg/m}^2$$

4.3 Perancangan Gelagar Memanjang

Gelagar memanjang ditumpu dengan stringer dengan perhitungan beban mati meliputi berat sendiri jalan rel, bracing serta stringer $Q_{DL} = 24,57 \text{ kN}$ (SF=1,09) dan $M_{DL} = 76,85 \text{ kN.m}$ (SF=1,09). Beban hidup dihasilkan dari pembebanan statis sebagai berikut:



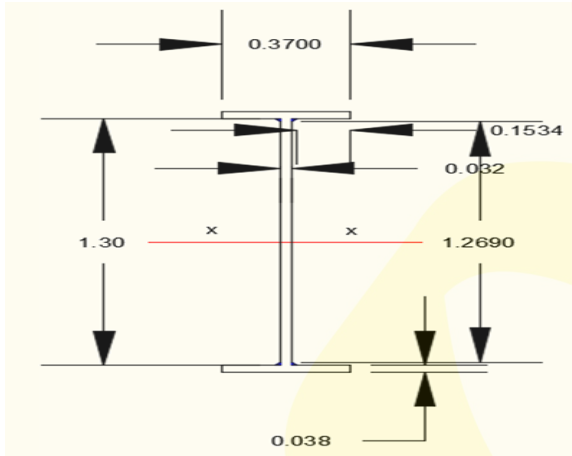
Gambar 3 Perencanaan Gelagar Memanjang

Dengan menghitung beban dinamis didapat nilai Desain Bending Momen (M_{ED}) dan Gaya Geser (Q_{ED})

$$M_{ED} = M_{D+L+\phi} = 7274,27 \text{ kN m}$$

$$Q_{ED} = Q_{D+L+\phi} = 1618,74 \text{ kN}$$

Desain stringer yang sesuai berdasarkan perhitungan adalah pelat dengan sambungan las sebagai berikut:



Gambar 4 Desain Stringer

Distribusi pembebanan untuk lendutan stringer sebagai berikut:

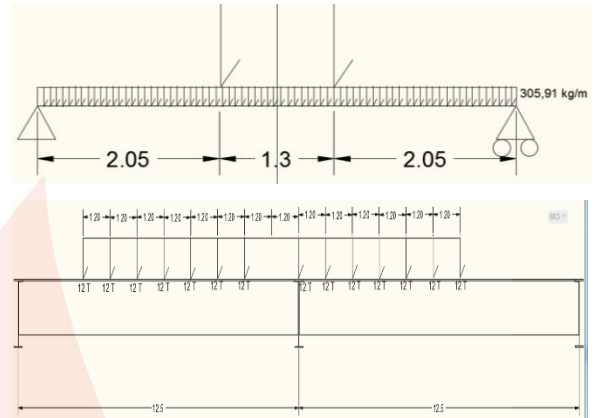


Gambar 5 Distribusi Pembebanan Stringer

4.3 Perancangan Gelagar Melintang

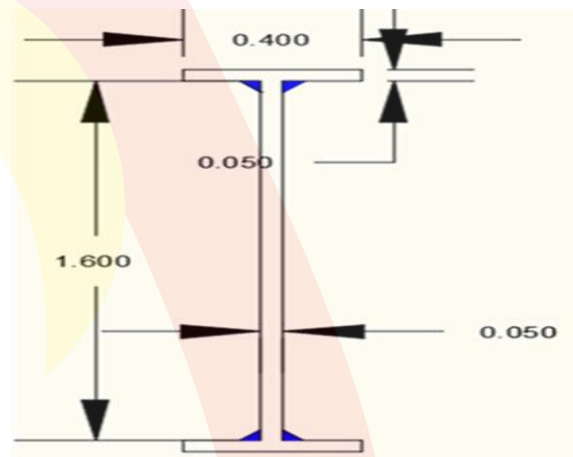
Gelagar melintang memikul pembebanan terpusat dari stringer, sehingga beban mati $Q_{DL} = 53,1 \text{ kN}$ dan $M_{DL} = 103,19 \text{ kNm}$. Sementara beban mati dihitung menghasilkan nilai $Q_{LL} = 1101,73 \text{ kN}$ dan $M_{LL} = 2258,57 \text{ kN}$, dengan pembebanan dinamis sebagai berikut: $M_{ED} = M_{D+L+\phi} = 4806,97 \text{ kNm}$ dan $Q_{ED} = Q_{D+L+\phi} = 2348,16 \text{ kN}$.

Gambar pembebanan pada Gelagar Melintang sebagai berikut:



Gambar 6 Perencanaan Gelagar Melintang

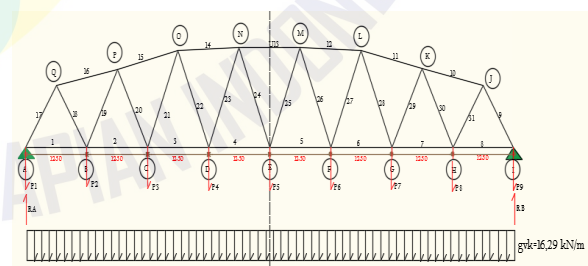
Dari hasil perhitungan diperoleh desain penampang gelagar melintang sebagai berikut:



Gambar 7 Penampang Gelagar Melintang

4.4 Perancangan Rangka Jembatan

Dengan memperhitungkan berat sendiri strutkur jalan rel $w_1 = 186,3 \text{ Kg/m}$, berat sendiri stringer $1116,74 \text{ Kg/m}$, berat sendiri gelagar melintang $24,94 \text{ kN/m}$. Diperoleh beban pada gelagar bawah (gvk) adalah $16,29 \text{ kN/m}$.



Gambar 8 Rangka Jembatan

Hasil perhitungan beban pada rangka jembatan pada tabel berikut:

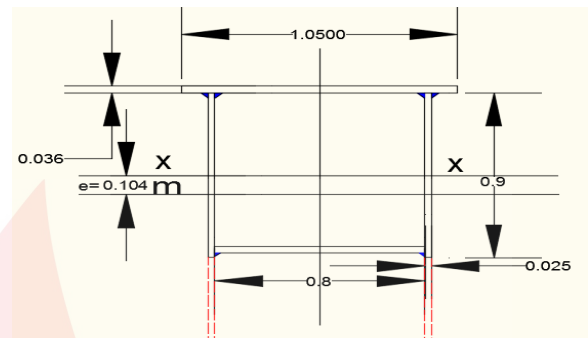
Tabel 2 Hasil Perhitungan Beban

No Batang	Akibat Beban Mati (kN)		Akibat Beban Hidup (kN)		Gaya Batang Total (kN)	Panjang Batang (m)
	Tarik	Tekan	Tarik	Tekan		
1 L	1860.24		1269.37		1860.24	12,5
2 L	4059.00		2381.83		4059	12,5
3 L	4500.81		2940.52		7441.33	12,5
4 L	4906.38		1996		6902.38	12,5
5 L	4820.23		1996		6816.23	12,5
6 L	4236.00		2940.52		7176.52	12,5
7 L	3667.30		2381.83		3667.3	12,5
8 L	1666.60		1269,37		1666.6	12,5
9 U		-3011.59		-2399.55	-5411.14	11,29
10 U		-3014.61		-3008.55	-6023.16	12,71
11 U		-4255.61		-3504,51	-4255.61	12,84
12 U		-4682.10		-3546,45	-4682.1	12,5
13 U		-5012.59		-3197,3	-5012.59	12,5
14 U		-4856.57		-3546,45	-4856.57	12,5
15 U		-4619.53		-3504,51	-4619.53	12,84
16 U		-3331.90		-3008.55	-6340.45	12,71
17 U		-3386.17		-2399.55	-5785.72	11,29
18 D	2549.35		3050.13		5599.48	11,29
19 D		-1698.80	1204.01		-494.79	13,28
20 D	864.32		2190.6		3054.92	13,28
21 D		-94.11	734.62		-94.11	15,92
22 D	903.21		1539.4		2442.61	15,92
23 D		-137.36	4019.53		3882.17	16,25
24 D	278.60		1040.53		1319.13	16,25
25 D	502.60		1040.53		1543.13	16,25
26 D		-366.80	4019.53		3652.73	16,25
27 D	1133.49		1539.4		2672.89	15,92
28 D		-237.80	828.73		590.93	15,92
29 D	1014.09		2190.6		3204.69	13,28
30 D		-1497.38	1204.01		-293.37	13,28
31 D	2344.10		3050,13		2344.1	11,29

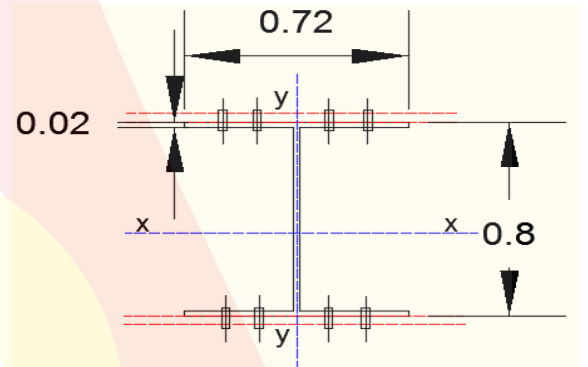
Desain profil baja diambil gaya batang terbesar tiap sectionnya (upper member, lower member, dan diagonal member) sehingga diperoleh rencana profil untuk:

- Member atas (upper chord) untuk gaya batang 6340,45 kN
- Member bawah (lower chord) untuk gaya batang 7441,33kN
- Member dalam untuk gaya batang 5599,48kN

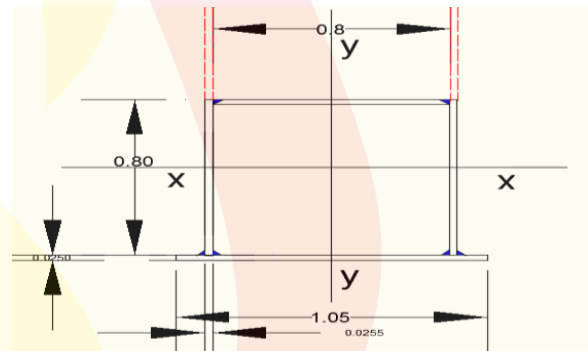
Hasil desain profil rangka jembatan adalah sebagai berikut:



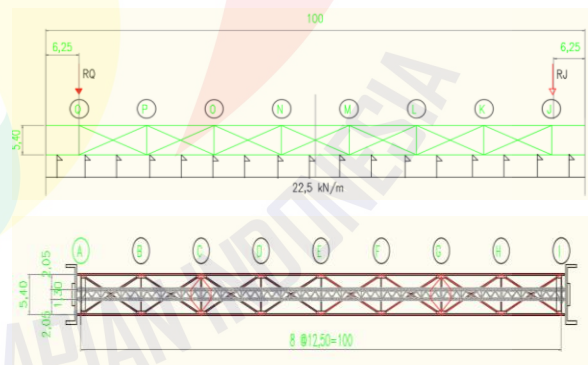
Gambar 9 Perencanaan Upper Chord



Gambar 10 Perencanaan Diagonal Member



Gambar 11 Perencanaan Lower Chord



Gambar 12 Perencanaan Ikatan Angin

Perencanaan sambungan untuk masing-masing gaya yang bekerja dan tipe profil rangka baja yang akan disambung dihitung untuk tebal plat, jenis baut dan jumlah baut

yang perlu dipasang, dengan hasil sebagaimana pada tabel berikut:

Tabel 3 Perencanaan Sambungan

No Batang	Gaya Batang Total (kN)		Panjang Batang (m)	Profil yang Dipakai (cm)	Rencana Sambungan				
	Tarik	Tekan			Tebal Pelat	Diameter Baut	Jumlah Baut Batang		Terpasang (Bauh)
						Tarik	Tekan		
1 L	3129,6 1		12,5	1 UFLG 105 x 2,5	2	2,2	33	0	34
				2WEB 80 x 2,5					
				1 UFLG 80 x 2,5					
2 L	6440,8 3		12,5	1 UFLG 105 x 2,5	2	2,2	67	0	68
				2WEB 80 x 2,5					
				1 UFLG 80 x 2,5					
3 L	7441,3 3		12,5	1 UFLG 105 x 2,5	2	2,2	78	0	78
				2WEB 80 x 2,5					
				1 UFLG 80 x 2,5					
4 L	6902,3 8		12,5	1 UFLG 105 x 2,5	2	2,2	72	0	72
				2WEB 80 x 2,5					
				1 UFLG 80 x 2,5					
5 L	6816,2 3		12,5	1 UFLG 105 x 2,5	2	2,2	71	0	72
				2WEB 80 x 2,5					
				1 UFLG 80 x 2,5					
6 L	7176,5 2		12,5	1 UFLG 105 x 2,5	2	2,2	75	0	76
				2WEB 80 x 2,5					
				1 UFLG 80 x 2,5					
7 L	6049,1 3		12,5	1 UFLG 105 x 2,5	2	2,2	63	0	64
				2WEB 80 x 2,5					
				1 UFLG 80 x 2,5					
8 L	2935,9 7		12,5	1 UFLG 105 x 2,5	2	2,2	31	0	32
				2WEB 80 x 2,5					
				1 UFLG 80 x 2,5					
9 U	-	5411,1 4	11,29	1 UFLG 105 x 3,6	2	2,2	0	57	58
				2WEB 80 x 2,5					
				1 UFLG 80 x 3,6					
10 U	-	6023,1 6	12,71	1 UFLG 105 x 3,6	2	2,2	0	63	64
				2WEB 80 x 2,5					
				1 UFLG 80 x 3,6					
11 U	-	7760,1 2	12,84	1 UFLG 105 x 3,6	2	2,2	0	81	82
				2WEB 80 x 2,5					
				1 UFLG 80 x 3,6					
12 U	-	8228,5 5	12,5	1 UFLG 105 x 3,6	2	2,2	0	86	86
				2WEB 80 x 2,5					
				1 UFLG 80 x 3,6					
13 U	-	8209,8 9	12,5	1 UFLG 105 x 3,6	2	2,2	0	86	86
				2WEB 80 x 2,5					
				1 UFLG 80 x 3,6					
14 U	-	8403,0 2	12,5	1 UFLG 105 x 3,6	2	2,2	0	88	88
				2WEB 80 x 2,5					
				1 UFLG 80 x 3,6					
15 U	-	8124,0 4	12,84	1 UFLG 105 x 3,6	2	2,2	0	85	86
				2WEB 80 x 2,5					
				1 UFLG 80 x 3,6					
16 U	-	6340,4 5	12,71	1 UFLG 105 x 3,6	2	2,2	0	66	66
				2WEB 80 x 2,5					
				1 UFLG 80 x 3,6					
17 U	-	5785,7 2	11,29	1 UFLG 105 x 3,6	2	2,2	0	61	62
				2WEB 80 x 2,5					
				1 UFLG 80 x 3,6					
18 D	5599,4 8		11,29	WF 72X x 80 x 2 x 2	2	2,2	59	0	60
19 D	1204,0 1	-1698,8	13,28	WF 72X x 80 x 2 x 2	2	2,2	13	18	18
20 D	3054,9 2		13,28	WF 72X x 80 x 2 x 2	2	2,2	32	0	32
21 D	734,62	-94,11	15,92	WF 72X x 80 x 2 x 2	2	2,2	8	1	8
22 D	2442,6 1		15,92	WF 72X x 80 x 2 x 2	2	2,2	26	0	26
23 D	4019,5 3	-137,36	16,25	WF 72X x 80 x 2 x 2	2	2,2	42	1	42
24 D	1319,1 3		16,25	WF 72X x 80 x 2 x 2	2	2,2	14	0	14
25 D	1543,1 3		16,25	WF 72X x 80 x 2 x 2	2	2,2	16	0	16
26 D	4019,5 3	-366,8	16,25	WF 72X x 80 x 2 x 2	2	2,2	42	4	42
27 D	2672,8 9		15,92	WF 72X x 80 x 2 x 2	2	2,2	28	0	28
28 D	828,73	-237,8	15,92	WF 72X x 80 x 2 x 2	2	2,2	9	2	10
29 D	3204,6 9		13,28	WF 72X x 80 x 2 x 2	2	2,2	34	0	34
30 D	1204,0 1	1497,3 8	13,28	WF 72X x 80 x 2 x 2	2	2,2	13	16	16
31 D	5394,2 3		11,29	WF 72X x 80 x 2 x 2	2	2,2	56	0	56

4.5 Pembahasan

Hasil studi ini merupakan langkah awal untuk mendesain keseluruhan jembatan rangka baja untuk kereta api. Penelitian ini belum menghitung struktur bawah jembatan, beban gempa, dan belum memperhatikan

interaksi antara rangka baja dan jalan rel jika dilalui oleh kereta dengan kecepatan tinggi yang terpengaruh oleh beban horizontal angin.

Profil yang dihasilkan merupakan profil yang harus difabrikasi dan memerlukan beberapa sambungan, pembahasan mengenai sambungan pada profil jembatan kereta api dapat menjadi penelitian tersendiri.

Perancangan jembatan di Indonesia mengacu pada standar Bridge Management System BMS-92. Sampai dengan tahun 1970 banyak dibangun jembatan dengan rangka baja (237 Km), namun sejak tahun 2000 pembangunan tersebut menurun (Dewobroto, 2014). Salah satu alasan penggunaan rangka baja adalah perbandingan kekuatan dengan beratnya yang relative lebih rendah daripada menggunakan beton, sehingga ukuran pondasi bisa lebih efisien.

Perencanaan jembatan rangka baja untuk kereta api ini mengacu pada berbagai standar yang ditetapkan yang belum diadopsi oleh SNI, sehingga diperlukan studi lebih lanjut agar pemerintah dapat mengeluarkan peraturan yang dapat diterapkan secara menyeluruh dalam proses perencanaan jembatan kereta api, khususnya jembatan dengan bentang panjang di atas 100 meter.

5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Hasil Perancangan Superstructure Jembatan Kereta Api Bentang 100 meter Tipe Rangka Baja Lalu Lintas Bawah menggunakan beberapa acuan diantaranya Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, European Standard untuk Jembatan Kereta Api dan AREMA (American Railway Engineering and Maintenance Association), mengingat masih sangat terbatasnya kajian terhadap jembatan kereta api bentang panjang.

2. Desain Jembatan Kereta Api Bentang 100 Meter tipe Rangka Baja dirancang dengan desain camel back untuk memenuhi aspek estetika dan struktur;
3. Gelagar memanjang pada jembatan kereta api dibuat menjadi rangka berbentuk stringer yang menggantikan fungsi utama gelagar memanjang;
4. Untuk jembatan kereta api bentang panjang dibutuhkan pembentukan profil dari pelat, karena ukuran profil baja yang dipergunakan tidak diproduksi secara masal (ukuran besar).
5. Dalam perancangan superstructure jembatan ini dipergunakan profil:
 - Rangka Lower Chord: 1 UFLG 105 x 2,5; 2WEB 80 x 2,5 dan 1 UFLG 80 x 2,5,
 - Rangka Upper Chord: 1 UFLG 105 x 3,6; 2WEB 80 x 2,5 dan 1 UFLG 80 x 3,6
 - Rangka Diagonal: WF 72X x 80 x 2 x 2
 - Stringer: WF 37 x130 x3,8x3,2; 2 profil L back to back 80x80x6
 - Ikatan Angin: 2 profil L back to back 250x250x35
6. Kekuatan sambungan jembatan kereta api merupakan titik kritis yang membutuhkan perhitungan yang teliti dan akurat untuk menghindari kegagalan struktur, dalam perancangan ini dipergunakan High Strength Bolt M22 dan M27.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Pemerintah hendaknya memberikan acuan yang rinci terhadap perancangan struktur jembatan kereta dan perlu menetapkannya sebagai Standar Nasional Indonesia, mengingat selama ini perancangan jembatan kereta api mengacu pada berbagai peraturan negara lain yang belum tentu sesuai dengan kondisi geografis Indonesia;
2. Dalam peneitian ini hanya dihitung superstructure saja, perlu dilakukan perancangan lanjutan terhadap sendi

(Roller Steel Bearings), abutment dan pondasi menyesuaikan lokasi peletakan jembatan (karena gaya gempa sangat berpengaruh); Perlu diadakan kajian terhadap pengelasan pelat menjadi profil-profil baru pada tugas akhir ini baik itu komposisi kimia, sudut pengelasan dan lain sebagainya.

6 REFERENSI

- Anon, 2012a. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api.
- Ellobody, E., 2014. Finite Element Analysis and Design of Steel and Steel-Concrete Composite Bridges First Edit., Oxford, United Kingdom: Elsevier.
- Jhon F. Unsworth, 2010. Design of Modern Steel Railway Bridges, Boca Raton: CRC Press.
- S, M.R., 2010. Perancangan Alternatif Struktur Jembatan Kalibata dengan Menggunakan Rangka Baja.
- Struyk, I.H.J. & Veen, P.I.K.H.C.W. van der, 1995. Jembatan 4th ed. Soemargono, ed., Jakarta: Pradnya Paramita.
- Dewobroto, Wiryanto dkk. Handbook of International Bridge Engineering. CRC Press. 2014.