

Perencanaan Jembatan Kereta Api Jalur Ganda di Tarik, Sidoarjo dalam Rangka Proyek Jalur Ganda Surabaya-Mojokerto

Rishaldy Aziz Sabadilla, Heppy Kristijanto, dan Hidayat Soegihardjo Masiran
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: heppy@ce.its.ac.id

Abstrak—Melihat perkembangan moda transportasi kereta api yang signifikan, ternyata perkembangan ini tidak sinkron dengan jalur jalan rel yang tersedia di antara lintas Surabaya-Mojokerto di Stasiun Tarik yang hanya terdapat satu jalan rel (jalur tunggal) yang mempunyai keterbatasan yaitu: persilangan antar kereta api yang berlawanan. Persilangan ini jika tepat waktu, akan tetap teratur. Namun jika satu rangkaian kereta yang melintas tidak tepat jadwal, kereta lain yang mengalah akan mengalami keterlambatan. Solusi permasalahan ini adalah membangun jembatan kereta api baru yang sudah 2 jalur di sebelah barat Stasiun Tarik. Jembatan kereta api Tarik baru ini dirancang dengan perpaduan rangka warren yang membusur untuk mengurangi defleksi akibat beban kereta api yang cukup masif. Jembatan baru ini dirancang dengan jumlah bentang sebanyak 3 bentang dengan panjang bentang 80 meter dan mempunyai segmen sepanjang 8 meter. Jembatan jalur ganda Tarik ini direncanakan menggunakan pembebanan RM 21 dan memakai ketentuan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 tahun 2012. Untuk peraturan lainnya, menggunakan SNI: 1725 2016, 2833 2016. Perhitungan dan penggambaran menggunakan Ms Excel, SAP2000, dan AutoCAD. Nilai-nilai yang bisa disimpulkan adalah: Kotak 500 x 500 x 50 x 50 (rangka portal/A1), jumlah pancang D60 pada abutmen yaitu 42 batang sedalam lebih dari 40 m dan jumlah pancang D80 pada pilar yaitu 64 batang sedalam lebih dari 40 m. Nilai pancang yang demikian besar dikarenakan tanah yang lemah (kelas D). Selain itu, per dan pancang dirancang mampu menahan gaya normal kereta dan gaya lateral arus sungai.

Kata Kunci—Jalur Ganda Kereta Api, Jembatan Bentang Menengah, Jembatan Busur, Jembatan Rangka, Tarik.

I. PENDAHULUAN

MODA transportasi kereta api masih menjadi favorit bagi masyarakat yang ingin berpindah tempat. Mengutip dari Badan Pusat Statistik tahun 2017 pada lampiran 5 pada Januari 2017 jumlah pengguna transportasi berbasis rel ini tercatat 30,9 juta penumpang, lebih tinggi dari penumpang pesawat (8,6 juta) dan kapal laut (1,25 juta).

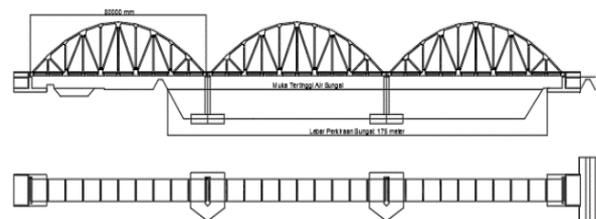
Namun penambahan jumlah lalu lintas kereta ini tidak diimbangi dengan penambahan jumlah jalan rel. Jalan rel yang tersedia di jalur Surabaya-Mojokerto hanya 1 jalan rel warisan Belanda (jalur tunggal). Akibat jalur yang masih tunggal, salah satu kereta dengan nomor paling tinggi yang akan berpapasan wajib mengalah seperti yang ditunjukkan Gambar 1.

Untuk melewati rintangan sungai itu, maka akan dirancang sistem jembatan rangka warren dan busur yang mampu dilewati 2 jalan rel seperti dalam Gambar 2. Jembatan baru ini direncanakan akan memurnatugaskan jembatan lama buatan Belanda. Letak jembatan baru ini berada di sebelah



Gambar 1. Jembatan Tarik diambil dari Google Maps.

RENCANA LETAK JEMBATAN



Gambar 2. Rencana Jembatan Tarik baru.

barat jembatan lama dan direncanakan tidak mengganggu operasional jembatan lama selama masa konstruksi seperti yang ditunjukkan Gambar 1. Ketika Jembatan Tarik dengan konstruksi baru telah rampung, Jembatan Tarik eksisting akan purnatugas seperti Jembatan KA Serayu di Purwokerto.

II. PEMAHAMAN

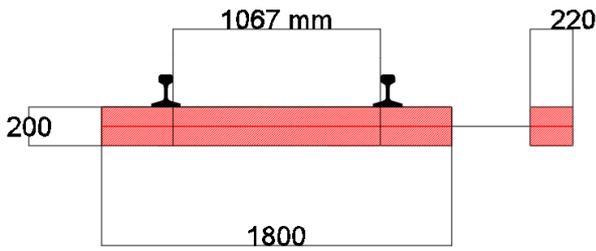
A. Umum

Menurut Asiyanto (2008), jembatan rangka baja adalah jembatan yang menyalurkan beban kendaraan dan lingkungan melalui rangka yang diikat/dibaut pada simpul dan bersambung hingga berakhir di perletakan [1].

Jembatan secara umum adalah sistem penyeberangan terhadap suatu halangan atau lalu lintas tanpa mengganggu dan merusak objek yang dilintasi. Struktur jembatan terdiri atas bangunan atas dan bangunan bawah serta perletakan yang berjumlah minimal 4 buah. Bangunan atas adalah sebagai jalur penyeberangan, sedangkan bangunan bawah sebagai penyangga bangunan atas

B. Khusus

Pada Jembatan Tarik terdapat bagian-bagian spesifik yang ada pada jembatan rangka, yaitu rangka dan ikatan. Rangka

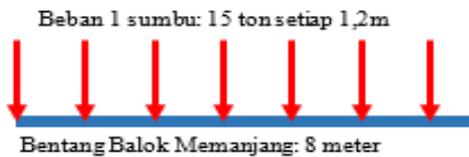


Gambar 3. Dimensi sebuah jalan rel.

Susunan kereta itu selalu dibikin sehingga bagi bagian yang harus dihitung kekuatannya paling berbahaya. Jika ada 6 atau 7 gandar yang dapat tempat dalam hitungannya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 15 ton.



Gambar 4. Pembebanan RM 21 yang dipakai pada Jembatan Tarik.



Gambar 5. Ilustrasi pembebanan pada balok memanjang.

berfungsi mengubah gaya vertikal dari kereta menjadi gaya tarik dan tekan yang disalurkan menuju perletakan. Sedangkan ikatan berfungsi menjaga kekakuan jembatan dari gaya yang bervektor lateral atau horisontal.

Selain itu, terdapat suatu sistem bernama portal akhir yang berfungsi mempertahankan kekakuan jembatan terhadap perletakan. Portal akhir terdiri dari sepasang rangka tekan dan sebuah balok yang menahan pergerakan jembatan. Balok portal ini tidak sama dengan balok lantai kendaraan yang tidak didesain menahan momen, balok portal terjadi momen akibat sambungan yang terjadi adalah jepit-jepit.

III. PERHITUNGAN BANGUNAN ATAS

A. Pembebanan

Awal pembebanan vertikal pada jembatan Tarik adalah pembebanan jalan rel. Beban jalan rel terdiri dari: rel R54 dan bantalan kayu ulin (*Eusideroxylon zwageri*) 1800 mm × 220 mm × 200 mm dengan jarak 40 cm seperti pada Gambar 3. Detail perhitungan terdapat pada (1), (2), (3), dan (4).

$$V = p \times l \times t \tag{1}$$

$$V = 1,8 \times 0,22 \times 0,2 = 0,0792 \text{ m}^3$$

$$n = \frac{L}{\lambda} \tag{2}$$

$$20 = \frac{8 \text{ m}}{0,4 \text{ m}}$$

$$m = \rho \times V \tag{3}$$

$$m = 900 \times 0,0792 = 71,28 \text{ kg}$$

$$m' = \frac{m \times n}{2 \times L} \tag{4}$$

Tabel 1.

Beban Kereta dari Perhitungan Pembebanan RM 21	
Beban 1 roda	: 15/2 = 7,5 ton/roda
Beban dalam balok memanjang	: 7,5 * 7 = 52,5 ton
Beban Terbagi Rata	: 52,5/8 = 6,5625 ton/m

Tabel 2.

Perhitungan Beban yang Mengikuti Beban Kereta	
Beban Terbagi Rata	: 6,5625 ton/m
Beban Kejut	: 6,5625 * 0,4 = 2,575 ton/m
Beban Lateral (Tumbuk)	: 6,5625 * 0,2 = 1,3125 ton/m
Beban Longitudinal (Rem/Gas)	: 6,5625 * 0,25 = 1,640625 ton/m

$$m = \frac{71,28 \times 20}{2 \times 8} = 89,1 \text{ kg/m}$$

Pembebanan hidup pada Jembatan Tarik menggunakan RM 21 yang terdapat pada Peraturan Menteri Perhubungan (PerMenHub) nomor 60 tahun 2012 sebagaimana keterangan pada Gambar 4 [2].

Untuk penjelasan lebih detail terdapat pada gambar 5 berupa ilustrasi pembebanan pada balok memanjang Perhitungan pembebanan mengikuti cara pada Tabel 1 dengan penjelasan pembebanan pada Gambar 5.

Selain itu, terdapat beban lain sebagai beban yang ikut bersama beban kereta. Beban-beban itu adalah: beban kejut (vertikal), beban rem (longitudinal), dan beban tumbuk (lateral). Perhitungan beban yang ikut bersama beban kereta terdapat pada Tabel 2.

Selain beban dari kereta sebagai beban utama pada kereta, terdapat beban angin sebagai beban utama arah lateral kereta. Beban angin ini sebesar 150 kg/m² ketika kereta lewat, dan mengenai rangka jembatan terluar dan badan kereta ketika lewat, sehingga menghasilkan gaya sebesar 56686 kg seperti yang ditunjukkan Gambar 6.

B. Ketinggian Busur Jembatan

Jembatan Tarik menggunakan sistem busur dengan titik tertinggi yaitu 20 meter. Dengan menggunakan (5) berikut:

$$y = h - \left(\frac{h}{n} \right) \times x^2 \tag{5}$$

maka akan diketahui ketinggian busur di titik segmen yang berbeda. Pada rumus 1 di atas, x adalah jarak dari titik tengah jembatan ke segmen yang dituju, sedangkan n adalah nilai konstanta bernilai 80. Nilai dari tinggi segmen tersebut terdapat pada Tabel 3 dengan keterangan gambar pada Gambar 7.

C. Garis Pengaruh

Garis pengaruh adalah suatu gaya yang kedudukannya pada struktur selalu bergerak atau gaya yang pengaruhnya pada struktur bersifat tidak menentu akibat pergerakan (bukan akibat beban berkurang atau bertambah secara statis). Menurut Heinz Frick, garis pengaruh harus ditentukan untuk semua nilai statika seperti: reaksi tumpuan, gaya lintang dan momen pada rangka tertentu [3].

Sistem garis pengaruh dihitung dari ujung-ujung segmen, dimulai dari perletakan 1, batas segmen: 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-5, lalu batas segmen yang becerminkan sampai perletakan 2 sebagaimana pada Gambar 8.

Tabel 7.
Tinggi Busur pada Titik Tertentu pada Jembatan

x (m)	y (m)
0	20
8	19,2
16	16,8
24	12,8
32	7,2
40	0

Tabel 8.
Nilai Garis Pengaruh A1

Titik	Jarak dari Titik Awal (m)	Nilai GP A1
Perletakan 1	0	0
Segmen 1 ke 2	8	-1,345
Segmen 2 ke 3	16	-1,1925
Segmen 3 ke 4	24	-1,0461
Segmen 4 ke 5	32	-0,8969
Segmen 5 ke 5	40	-0,7472
Segmen 5 ke 4	48	-0,5978
Segmen 4 ke 3	56	-0,4483
Segmen 3 ke 2	64	-0,2988
Segmen 2 ke 1	72	-0,149
Perletakan 2	80	0

Tabel 9.
Nilai Garis Pengaruh Rangka B1

Titik	Jarak dari Titik Awal (m)	Nilai GP B1
Perletakan 1	0	0
Segmen 1 ke 2	8	1
Segmen 2 ke 3	16	0,88
Segmen 3 ke 4	24	0,77
Segmen 4 ke 5	32	0,66
Segmen 5 ke 5	40	0,55
Segmen 5 ke 4	48	0,44
Segmen 4 ke 3	56	0,33
Segmen 3 ke 2	64	0,22
Segmen 2 ke 1	72	0,11
Perletakan 2	80	0

3) Kontrol Momen:

$$M_p = Z_x \times f_y$$

$$M_p = 6588 \times \frac{2500}{100} = 241700 \text{ kgm} \tag{8}$$

$$M_u \leq M_p \quad 78864 \leq 241700 \text{ kgm} \quad (\text{memenuhi})$$

4) Kontrol Geser:

$$\left(\frac{d}{tw}\right) \leq \left(\frac{1100}{\sqrt{f_y}}\right) \tag{9}$$

$$\left(\frac{74}{2}\right) \leq \left(\frac{1100}{\sqrt{f_y}}\right) \quad 37 \leq 69,57 \quad (\text{memenuhi})$$

$$V_n = 0,6 \times f_y \times t \times w$$

$$V_n = 0,6 \times 2500 \times 74 \times 2 = 222000 \text{ kg} \tag{10}$$

$$V_u \leq V_n \quad 39164 \leq 222000 \quad (\text{memenuhi})$$

5) Kontrol Tekuk Lateral:

Batas bentang pendek

Tabel 3.
Nilai Garis Pengaruh Rangka D1

Titik	Jarak dari Titik Awal (m)	Nilai GP D1
Perletakan 1	0	0
Segmen 1 ke 2	8	-0,6633
Segmen 2 ke 3	16	0,1498
Segmen 3 ke 4	24	0,1352
Segmen 4 ke 5	32	0,1146
Segmen 5 ke 5	40	0,0957
Segmen 5 ke 4	48	0,0765
Segmen 4 ke 3	56	0,0574
Segmen 3 ke 2	64	0,0382
Segmen 2 ke 1	72	0,0191
Perletakan 2	80	0

Tabel 4.
Nilai Garis Pengaruh T1

Titik	Jarak dari Titik Awal (m)	Nilai GP T1
Perletakan 1	0	0
Segmen 1 ke 2	8	1
Segmen 2 ke 3	16	-0,00192
Segmen 3 ke 4	24	-0,00424
Segmen 4 ke 5	32	-0,00245
Segmen 5 ke 5	40	-0,00213
Segmen 5 ke 4	48	-0,00166
Segmen 4 ke 3	56	-0,00125
Segmen 3 ke 2	64	-0,00083
Segmen 2 ke 1	72	-0,00042
Perletakan 2	80	0

Tabel 5.
Profil balok memanjang WF 800 x 300 x 20 x 30

A	328	cm ²	Ix	334477,3	cm ⁴
M	257,48	kg/m	Iy	13549,3	cm ⁴
H	74	cm	Ip	379106,7	cm ⁴
F	3	cm	Sx	8361,9	cm ³
W	2	cm	Sy	903,3	cm ³
D	80	cm	ix	31,93	cm
B	30	cm	iy	6,43	cm
fpu	410	MPa	Zx	9668	cm ³
E	200	GPa	Zy	4824	cm ³
fy	250	MPa	G	84	Gpa
			fr	110	MPa

Tabel 6.
Profil rangka A1 BOX 500 x 500 x 50 x 50

A	900	cm ²	I	307500,00	cm ⁴
M	706,5	kg/m	Ip	615000,00	cm ⁴
B	50	cm	S	12300,00	cm ³
t	5	cm	i	18,48	cm
Mutu	4100	kg/cm ²	G	84,00	Gpa
E	200	Gpa	Z	8468,75	cm ³

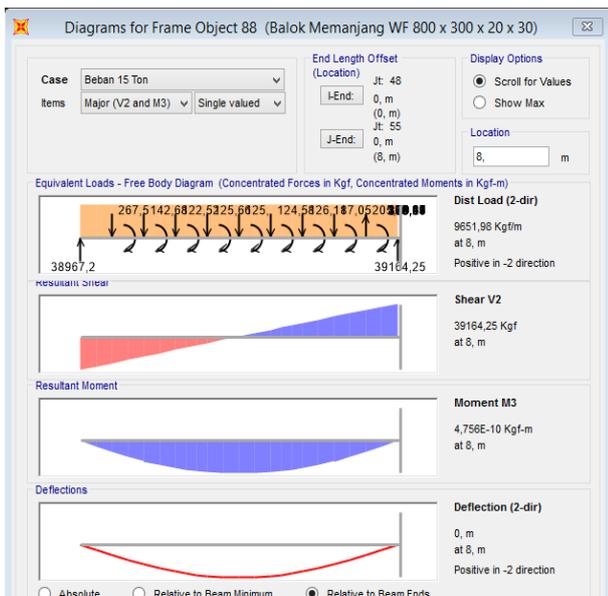
$$L_p = 1,76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \tag{11}$$

$$L_p = 1,76 \times 6,86 \times \sqrt{\frac{2000000}{2500}} = 319,9 \text{ cm}$$

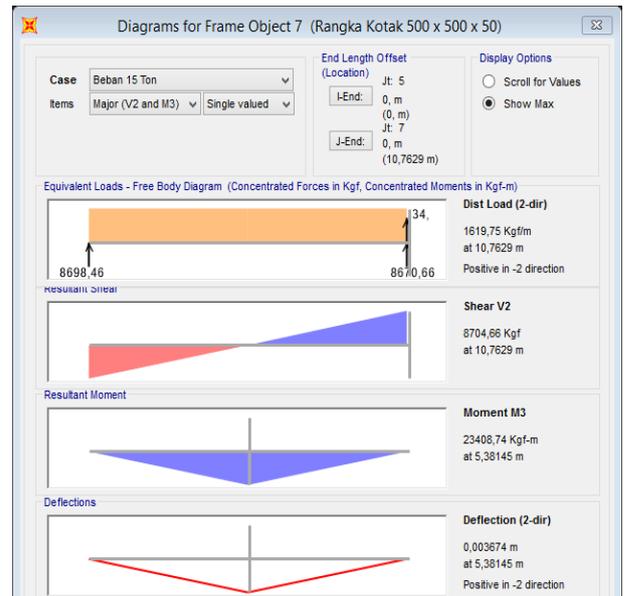
Batas bentang panjang

$$X1 = \left(\frac{\pi}{Sx}\right) \times \sqrt{\frac{E \times G \times J \times A}{2}} \tag{12}$$

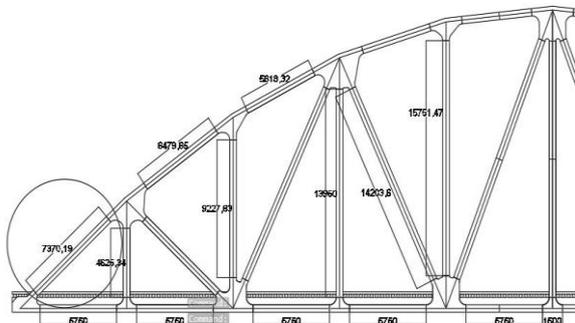
$$X1 = 360809,406$$



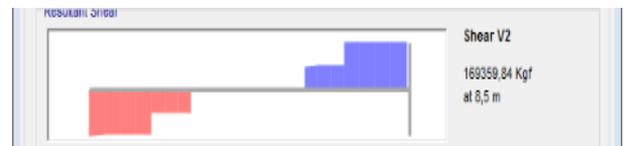
Gambar 18. Resultan gaya pada balok memanjang.



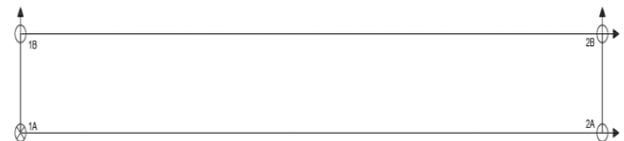
Gambar 14. Pembebanan Rangka A1 (Kolom Portal) pada Beban Searah Gravitasi.



Gambar 19. Letak rangka A1 pada rangka yang dilingkari.



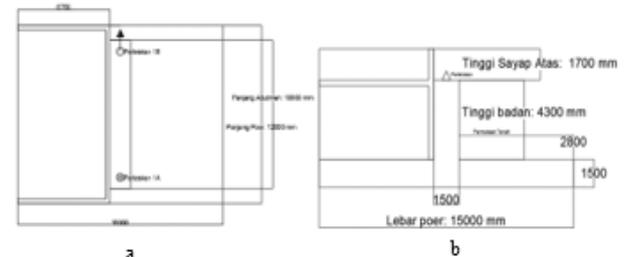
Gambar 15. Gaya geser maksimal pada balok melintang.



Gambar 16. Arah rilis gaya pada perletakan Jembatan Tarik.



Gambar 20. Beban aksial tekan pada rangka A1.



Gambar 17. Abutmen. Gambar a adalah tampak atas, gambar b adalah tampak samping.

$$X2 = 4 \times \left(\frac{S_x}{G \times I_x} \right) \times \left(\frac{I_w}{I_y} \right) \tag{13}$$

$$X2 = 9,9 \times 10^{-14}$$

$$L_r = r \times \left(\frac{X1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (X2 \times (f_y - f_r))}} \tag{14}$$

$$L_r = 1171 \text{ cm}$$

6) *Momen Nominal:*

$$M_{\max} = 78864 \text{ kgm} \quad M_B = 78864 \text{ kgm}$$

$$M_A = 58958 \text{ kgm} \quad M_C = 58958 \text{ kgm}$$

$$C_b = \frac{12,5 \times M_{\max}}{(2,5 \times M_{\max}) + (3 \times M_A) + (4 \times M_B) + (3 \times M_C)} \leq 2,3 \tag{15}$$

$$C_b = \left(\frac{12,5 \times 78864}{(6 \times 58958) + (6,5 \times 78864)} \right)$$

$$C_b = 1,138 \leq 2,3$$

$$M_n = C_b \times \left(M_r + \left((M_p - M_r) \times \left(\frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right) \right) \right) \leq M_p \tag{16}$$

$$M_n = 1,138 \times \left(117067 + \left((241700 - 117067) \times \left(\frac{1171 - 800}{1171 - 319,9} \right) \right) \right)$$

$$M_n \leq M_p \quad 195052,6 \text{ kgm} \leq 241700 \text{ kgm} \quad (\text{memenuhi})$$

7) *Kontrol Aksial (Tarik):*

$$P_y = \phi \times f_y \times A_g \tag{17}$$

$$P_y = 0,85 \times 2500 \times 328 = 697000 \text{ kg}$$

$$P_y > P_u \quad 697000 > 400000 \text{ kg} \quad (\text{memenuhi})$$

Tabel 12.

Resultan gaya pada tiap perletakan dan arah rilis gaya

Nomor Perletakan	Tipe Perletakan	Gaya Gravitasi (kg)	Gaya Longitudinal (kg)	Gaya Lateral (kg)
1A	Mati	886025	56686,09	266437,5
1B	Bebas searah lateral	886025		266437,5
2A	Bebas searah longitudinal	886025	56686,09	
2B	Bebas	886025		
Total		4948758	113372,18	532875

Tabel 13.

Gaya gempa yang terjadi pada abutmen

Gaya Gempa	$E_Q = \left(\frac{C_{SM}}{R_d}\right) \times M_t$	Nilai (kg)
EQ _y	$E_Q = \left(\frac{0,1467}{0,8}\right) \times \frac{3544100}{2}$	325.000
EQ _x	$E_Q = \left(\frac{0,1467}{0,8}\right) \times \frac{3544100}{2}$	325.000

E. Kontrol Struktur Penahan Gaya Aksial (Contoh: Rangka A1)

Gaya aksial adalah gaya yang bekerja searah dengan panjang penampang. Pada jembatan Tarik, bagian kerangka yang banyak menerima gaya aksial adalah ikatan dan rangka. Ikatan berguna menahan gaya yang menuju titik lemah profil (y), sedangkan rangka adalah bagian jembatan yang mengubah gaya vertikal kereta menjadi gaya aksial untuk diteruskan menuju perletakan dan bangunan bawah.

Sebagai contoh perhitungan ditampilkan rangka A1 pada Gambar 15. Rangka A1 berfungsi sebagai rangka terakhir (rangka portal) sebelum menuju perletakan dan bangunan bawah. Rangka A1 mempunyai profil berbentuk BOX 500 x 500 x 50 dengan mutu leleh 250 MPa (BJ41) seperti yang ditunjukkan Tabel 9.

Pembebanan pada rangka A1 tepi adalah dominan tekan, sebagaimana pada Gambar 16, yaitu -1141003 kg.

1) Kontrol Penampang:

$$\left(\frac{h}{tw}\right) < \left(\frac{665}{\sqrt{f_y}}\right) \tag{18}$$

$$\left(\frac{500}{50}\right) < \left(\frac{665}{\sqrt{250}}\right) \quad 5 \leq 10,75 \quad (\text{memenuhi})$$

2) Kontrol Panjang:

$$L_{max} = \frac{L_{ikatan}}{i} < 300 \tag{19}$$

$$L_{max} = \frac{817,18}{11,8} = 69,25 < 300$$

3) Kontrol Tekan:

Mencari nilai c maksimal

$$c_x = K_{cx} \times \frac{L_x}{i} \tag{20}$$

Tabel 10.

Tipe perletakan Freyssinet pada tiap titik

Letak	1A	2A	1B	2B
Tipe	FX	GG Hx	GG Hy	GL
	16.000	6.000	12.000	10000
V max (ton)	4.800	1800	3.600	400
		400	400	40
Hx max (ton)	2.000	2.000	2.000	2.000
Hy max (ton)	600		600	
h (cm)	600	600		
x (cm)	28,5	18,5	23,5	15,5
y (cm)	107	108	98	106
	107	72	146	66

Tabel 11.

Gaya maksimal 1 tiang pancang pada setiap kombinasi

No	Tipe Kombinasi	P max (kg)
1	Kereta 2 Arah Diam di Jembatan	134290
2	Kereta 2 Arah Berjalan Berlawanan	138600
3	Kereta 2 Arah Berjalan ke Arah Jembatan	118266
4	Jembatan Kosong	102464
5	Gempa ketika 2 Kereta Berbeda Arah Melintas	123296

$$c_x = 1 \times \frac{800}{18,48} = 43,28$$

$$c_y = K_{cy} \times \frac{L_y}{i} \tag{21}$$

$$c_y = 1 \times \frac{166,7}{18,48} = 38,9$$

Nilai reduksi tekan baja

$$c = \frac{c_{max}}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} \tag{22}$$

$$c = \left(\frac{43,28}{\pi}\right) \times \sqrt{\frac{2500}{2000000}} = 0,487$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \times c)} \tag{23}$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \times 0,487)} = 1,12$$

$$P_n = 0,85 \times A_g \times \frac{f_y}{\omega} \tag{24}$$

$$P_n = 0,85 \times 900 \times \frac{2500}{1,12} = 1705757 \text{ kg}$$

$$P_n \geq P_u \quad 1705757 \geq 1141003 \text{ kg} \quad (\text{memenuhi})$$

F. Portal Akhir

Portal akhir berfungsi menahan bentuk jembatan agar defleksi lateralnya tidak berlebihan. Portal akhir terdiri dari sepasang kolom portal (rangka A1) dan balok portal. Pada perhitungan ini hanya ditampilkan kontrol kolom portal

Tabel 14.
Kedalaman aman pemasangan pancang grup D60

Dalam (meter)	Q _{ijin 1 tiang} (ton)	Q _{ijin Grup} (kg)	Aman ?	Dalam (meter)	Q _{ijin 1 tiang} (kg)	Q _{ijin Grup} (kg)	Aman ?
4	14,0	19,9	BAYA	24	37,6	53,6	BAYA
8	13,9	19,9	BAYA	28	47,3	67,5	BAYA
12	18,9	27,0	BAYA	32	60,0	85,6	BAYA
16	22,8	32,5	BAYA	36	74,0	105,6	BAYA
20	27,9	39,8	BAYA	40	93,8	133,8	BAYA

karena kontrol untuk balok portal sama seperti (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), dan (17).

Pembebanan pada kolom portal terdapat pada Gambar 17. Kontrol pada kolom portal sama seperti kolom pada umumnya, yaitu: kontrol retak (24), kontrol kolom portal (25) (26) (27), dan kontrol interaksi balok-kolom (28) (29). Persamaan-persamaan di atas kecuali (24) diambil dari SNI 1729 2015 [5].

1) Kontrol Retak:

$$Ncrb_x = \left(\frac{\pi}{c}\right)^2 \times E \times A_g$$

$$Ncrb_x = \left(\frac{\pi}{43,28}\right)^2 \times 2 \times 10^6 \times 900 \tag{24}$$

$$Ncrb_x = 9491771,67 \text{ kg}$$

2) Kontrol Kolom Portal:

$$\delta b_x = \frac{C_m}{1 - \left(\frac{N_u}{Ncrb_x}\right)} > 1 \tag{25}$$

$$\delta b = \frac{0,85}{1 - \left(\frac{1488505}{9491771,67}\right)} = 1,0081 > 1$$

$$M_{uy} = \delta b \times M_y \tag{26}$$

$$M_{uy} = 1,0081 \times 23409 = 23598,613 \text{ kgm}$$

$$M_{ux} = \delta b \times M_x \tag{27}$$

$$M_{ux} = 1,0081 \times 2172 = 2189,6 \text{ kgm}$$

3) Kontrol Interaksi Balok Kolom:

$$\frac{P_u}{\phi P_n} \leq 0,2 \tag{28}$$

$$\frac{316577}{1705757} = 0,185 \leq 0,2$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{0,9 \times M_n}\right) + \left(\frac{M_{uy}}{0,9 \times M_n}\right) \leq 1 \tag{29}$$

$$0,185 + \left(\frac{2189,6}{0,9 \times 281772,8}\right) + \left(\frac{23598,613}{0,9 \times 281772,8}\right)$$

$$0,185 + 0,0086 + 0,093 = 0,2872$$

$$0,2872 \leq 1 \quad (\text{memenuhi})$$

G. Sambungan

Sambungan pada jembatan Tarik terdapat 2 tipe, yaitu baut, dan las. Sebagai contoh perhitungan adalah sambungan balok melintang-rangka dengan detail: balok melintang WF 1000 x 500 x 50 x 75, plat simpul BJ55 tebal 16 mm, diameter baut D30 A325, bidang geser: 2 (balok melintang), nilai ϕ : 0,75, koefisien geser: 0,35, dan las 80xx (sambungan plat pada rangka).

Pembebanan pada balok melintang adalah sebesar 169359 kg pada titik akhir balok seperti yang ditunjukkan Gambar 18.

Baut dan las perlu dihitung kekuatan nominal untuk mengetahui nilai kebutuhan penguat sambungan yang diperlukan.

1) Kekuatan 1 Baut:

$$\phi V_n = 1,13 \times \phi \times \mu \times m \times T_b$$

$$\phi V_n = 1,13 \times 0,75 \times 0,35 \times 2 \times 32600 \tag{30}$$

$$\phi V_n = 19339,95 \text{ kg/baut}$$

2) Jumlah Baut yang Diperlukan:

$$n = \frac{V_u}{\phi V_n} = \frac{170000}{19339,95} \tag{31}$$

$$n = 8,8 \text{ baut} \sim 10 \text{ baut}$$

3) Las 80xx Sambungan Balok-Rangka:

$$t_p = 16 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = 6 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = t_p - 1,6 \tag{32}$$

$$a_{\max} = 16 - 1,6 = 14,4 \text{ mm}$$

$$t_e = \sin 45^\circ \times a_{\max}$$

$$t_e = 0,707 \times 14,4 = 10,18 \text{ mm} \tag{33}$$

$$t_e = 1,018 \text{ cm}$$

$$R_n = \phi \times t_e \times 0,6 \times 80 \text{xx}$$

$$R_n = 0,75 \times 1,018 \times 0,6 \times 5624 \tag{34}$$

$$R_n = 2577 \text{ kg/cm}$$

4) *Kebutuhan Las:*

$$L_{Las} = \frac{P}{R_n}$$

$$L_{Las} = \frac{170000}{2577} \tag{35}$$

$$L_{Las} = 66 \text{ cm}$$

Selain menghitung nominal baut dan las, pada persamaan-persamaan di bawah juga menghitung kekuatan plat penyokong sambungan. Di antara kontrol-kontrol itu antara lain:

5) *Kontrol Jarak Baut:*

$$3db < S < 15tp \tag{36}$$

$$90 < 100 < 240 \text{ mm}$$

$$1,5db < S1 < (4tp + 100) \tag{37}$$

$$45 < 50 < 164 \text{ mm}$$

$$1,5db < S1 < 12tp \tag{38}$$

$$45 < 50 < 192 \text{ mm}$$

6) *Kontrol Leleh Plat:*

$$d_{lubang} = d_{baut} + 0,15 \tag{39}$$

$$d_{lubang} = 3 + 0,15 = 3,15 \text{ cm}$$

$$A_{gz} = ((L_z - d)) \times t_p$$

$$A_{gz} = ((50 - (5 \times 3,15))) \times 1,6 \tag{40}$$

$$A_{gz} = 54,8 \text{ cm}^2$$

$$T_{nz} = 0,9 \times A_{gz} \times f_y \tag{41}$$

$$T_{nz} = 0,9 \times 54,8 \times 4100 = 202212 \text{ kg}$$

$$T_{nz} \geq 0,5 \times V \quad 202212 > 85000 \quad (\text{memenuhi})$$

H. *Pembebanan Total*

Jembatan Tarik mempunyai resultan gaya menuju perletakan yang berjumlah 4 buah. Total pembebanan pada jembatan Tarik terdapat pada Tabel 10. Sedangkan Gambar 19 adalah arah rilis gaya pada perletakan.

I. *Gaya Gempa*

Gaya gempa dihitung dengan (42) berikut.

$$E_Q = \left(\frac{C_{SM}}{R_d} \right) \times M_t \tag{42}$$

Persamaan (42) di atas diambil dari SNI 2833 2016 [6].

Berdasarkan perhitungan di atas, untuk abutmen gaya gempa yang terjadi adalah seperti pada Tabel 11.

J. *Perletakan*

Jembatan Tarik menggunakan perletakan dari Freyssinet dengan 4 tipe berbeda menurut arah rilis gaya pada Tabel 12.

IV. PERHITUNGAN BANGUNAN BAWAH

A. *Data Tanah*

Data tanah untuk bangunan bawah jembatan Tarik didapat dari Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Teknik Sipil ITS.

B. *Bangunan Bawah (Contoh: Abutmen)*

Bangunan bawah adalah sistem pada jembatan yang berfungsi menyalurkan beban dari lantai kendaraan yang terdapat pada bangunan atas menuju tanah atau bumi. bangunan bawah juga sebagai saka atau kolom penyangga bagi jembatan.

Pada Gambar 20 adalah gambar dari rancangan abutmen beserta arah hadapnya.

C. *Pembebanan pada Abutmen*

Beban pada abutmen antara lain: beban bangunan atas, beban sendiri, beban kereta lewat, beban tanah aktif dan pasif, dan beban ketika gempa. Semua beban tersebut dimasukkan dalam 5 kombinasi yang berbeda. Nilai dari semua gaya vertikal, momen dan konfigurasi tiang pancang dirumuskan untuk mencari nilai P yang akan dipertimbangkan dengan daya dukung tanah dengan (43) dan Tabel 13.

$$P = \left(\frac{V}{n} \right) + \left(M_x \times \frac{Y_{max}}{\Sigma y^2} \right) + \left(M_y \times \frac{X_{max}}{\Sigma x^2} \right) \tag{43}$$

Karena tiang pancang abutmen tersusun dalam grup, maka gaya P_{max} perlu dikali dengan koefisien grup tiang dengan (44) sebagai berikut.

$$C_e = \left(1 - \frac{\tan^{-1} \left(\frac{SI}{S} \right)}{90} \right) \times \left(2 - \left(\frac{l}{m} \right) - \left(\frac{l}{n} \right) \right)$$

$$C_e = \left(1 - \frac{\tan^{-1} \left(\frac{0,5}{2} \right)}{90} \right) \times \left(2 - \left(\frac{1}{7} \right) - \left(\frac{1}{6} \right) \right) = 1,4268 \tag{44}$$

Nilai koefisien di atas dikalikan dengan P_{max} dan dibandingkan dengan Q_{ijin} tanah. Hasil dari perbandingan terdapat pada Tabel 14.

Dari nilai Tabel 14, kedalaman tiang pancang harus lebih besar dari 40 meter pengeboran SPT.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asiyanto, *Metode Konstruksi Jembatan Rangka Baja*. Jakarta: Universitas Indonesia Press, 2008.
- [2] Menteri Perhubungan Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. 60. (2012). Dalam PERSYARATAN Teknis Jalur Kereta Api." Jakarta: Departemen Perhubungan, Direktorat Jenderal Perhubungan Perkeretaapian, 2012.
- [3] F. Heinz, *Mekanika Teknik I, Statika dan Kegunaannya*. Yogyakarta: Kanisius, 1979.
- [4] B. S. Nasional, "SNI 03-1729-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung," Jakarta: Badan Standardisasi Nas., 2002.
- [5] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1729-2015: Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural," Jakarta; Badan Standardisasi Nasional, 2015.
- [6] B. S. Nasional, "SNI 2833: 2016, Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa." Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2016.