

# Modifikasi Perencanaan Jembatan Sipait Pekalongan dengan Menggunakan Sistem Jembatan Busur Rangka Baja

Daryl Julian Muhammad Akbar dan Endah Wahyuni  
Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan,  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
*e-mail*: endah@ce.its.ac.id

**Abstrak**—Jembatan Sipait terletak pada Ruas Jalan Pekalongan - Pemalang (KM. Pekalongan 10 + 300). Jembatan Sipait merupakan jembatan beton pratekan yang terbagi menjadi 3 bentang dengan panjang bentang masing - masing 25,6 meter, 40,8 meter, dan 25,6 meter. Struktur atas Jembatan Sipait ditopang oleh 2 abutmen pada bagian tepi sungai dan 2 pilar pada bagian badan sungai. Dalam perencanaan ini, Jembatan Sipait dimodifikasi menjadi jembatan busur rangka baja dengan tipe Through Arch untuk menghilangkan 2 pilar yang ada pada badan sungai. Jembatan didesain dengan bentang 92 m, tinggi busur 18 m, tinggi tampang 3,5 m, dan lebar 9,5 m. Perhitungan yang dilakukan dalam perencanaan menggunakan peraturan SNI 1725:2016, SNI 2833:2016, SNI 2847:2013, RSNI T-03-2005, RSNI T-12-2004 dan peraturan lain yang berkaitan dengan perencanaan jembatan baja. Program bantu yang digunakan adalah SAP2000 untuk analisa struktur dan AutoCAD untuk gambar perencanaan. Dari hasil perhitungan didapatkan tebal pelat lantai 20 cm, dimensi profil ikatan angin terbesar CHS 219,1x6,8, dimensi profil rangka utama terbesar Box 400x400x25, dimensi kolom dan balok portal akhir Box 500x500x25, diameter kabel penggantung 60mm, perletakan tipe POT bearing. Pondasi berupa tiang pancang sebanyak 30 buah sedalam 28 meter pada tiap abutment.

**Kata Kunci**—Jembatan Busur Rangka Baja, *Through Arch*, *Pot Bearing*, Sipait.

## I. PENDAHULUAN

JEMBATAN adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan atau daerah yang terputus karena adanya halangan atau rintangan seperti lembah, alur sungai, danau, saluran, jalan kereta, jalan raya yang tidak sebidang dan lain-lain [1]. Salah satu contoh jembatan yang melewati rintangan berupa sungai adalah Jembatan Sipait yang menyeberangi Sungai Sengkarang.

Jembatan Sipait merupakan jembatan beton pratekan dengan panjang total 92meter yang terdapat pada Ruas Jalan Pekalongan - Pemalang (KM. Pekalongan 10 + 300). Beban hidup yang harus dipikul oleh Jembatan Sipait adalah beban dari kendaraan bermotor 1 lajur 2 arah (2 x 3.5m) dengan tambahan trotoar pada tiap sisi dengan lebar 1 meter. Struktur atas Jembatan Sipait ditopang oleh 2 abutmen dan 2 pilar dengan jarak antar pilar 40,8 meter dan jarak pilar dengan abutmen 25,6 meter.

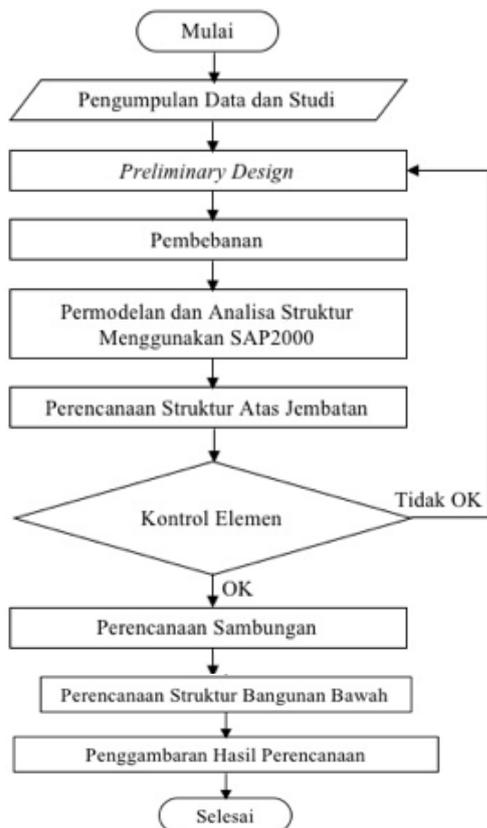
Adanya 2 pilar yang menopang Jembatan Sipait dapat menimbulkan potensi terjadinya masalah berupa gerusan lokal yang terjadi di sekeliling pilar. Gerusan lokal ini terjadi karena adanya gangguan aliran sungai yang disebabkan oleh pilar sehingga terjadi pusaran di bagian hulu pilar. Gerakan dari pusaran akan membawa butiran dasar menjauh dari asalnya dan jika tingkat debit sedimen yang keluar dari gerusan lebih besar dari yang masuk, maka akan terbentuk lubang akibat penggerusan [2]. Hilangnya butiran pada dasar sungai dapat mengurangi daya dukung yang dihasilkan oleh pondasi. Pengurangan daya dukung pondasi dapat menyebabkan pilar mengalami penurunan, keretakan, atau rotasi yang membahayakan kestabilan struktur secara keseluruhan.

Kemungkinan terjadinya gerusan lokal dapat dikurangi dengan mengurangi jumlah pilar yang ada pada aliran sungai. Pemikiran tersebut yang menjadi dasar untuk memunculkan alternatif desain baru untuk Jembatan Sipait. Jembatan Sipait yang awalnya memiliki sistem struktur beton pratekan perlu diubah menjadi sistem struktur yang cocok untuk bentang jembatan yang lebih panjang.

Jembatan busur banyak dipergunakan sebagai jembatan bentang panjang karena bentuk busur pada struktur pemikul utama mampu mengurangi nilai momen lapangan yang terjadi akibat beban luar. Sehingga dengan bentang yang sama, dimensi jembatan busur dapat lebih kecil dari pada jembatan girder [3][4].

Pada perencanaan ini Jembatan Sipait direncanakan ulang menggunakan jembatan busur rangka baja dengan bentang 92 meter. Prinsip utama yang mendasari penggunaan rangka batang sebagai pemikul beban utama adalah penyusunan elemen menjadi konfigurasi segitiga yang menghasilkan bentuk stabil. Pada struktur yang stabil deformasi yang terjadi relatif kecil, dan lentur tidak akan terjadi selama gaya-gaya luar berada pada titik simpul [5]. Selain itu, jenis jembatan busur rangka baja juga dipilih karena dapat mengurangi penggunaan pilar-pilar jembatan yang berada di tengah sungai. Pengurangan jumlah pilar dilakukan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya gerusan lokal pada pilar jembatan. Jembatan busur rangka baja juga diharapkan mampu memberikan nilai lebih dalam segi estetika dan menjadi *landmark* baru untuk kota Pekalongan.

II. METODOLOGI



Gambar 1. Diagram alir.

Adapun keterangan dari bagan metodologi pada Gambar 1 adalah sebagai berikut:

A. Pengumpulan Data dan Studi literatur

Pengumpulan data yang dilakukan meliputi peninjauan elevasi dan stationing dari jembatan eksisting, serta peninjauan kekuatan tanah di lokasi jembatan eksisting. Data umum yang perencanaan jembatan baru, antara lain :

- 1) Lokasi : Jalan Pekalongan - Pemalang KM. Pekalongan 10 + 300
- 2) Jenis : Jembatan Busur Rangka Baja Lantai Kendaraan Bawah
- 3) Bentang : 92 m
- 4) Lebar : 9,5 m
- 5) Tinggi : 18 m
- 6) Material : Baja

Melakukan studi literatur dengan berpedoman beberapa standar peraturan sebagai bahan pustaka dalam pengerjaan Studi, antara lain:

- 1) Bridges Management System (BMS 1992)
- 2) RSNI T-12-2004
- 3) RSNI T-03-2005
- 4) SNI 2833-2016
- 5) SNI 1725-2016
- 6) SNI 2847-2013

B. Preliminary Design

- 1) Penentuan Mutu Bahan yang digunakan
  - a) Mutu Beton Pelat ( $f'c$ ) = 40 MPa.
  - b) Mutu Beton Abutment ( $f'c$ ) = 40 MPa.
  - c) Mutu Baja Tulangan ( $f_y$ ) = 390 dan 420 MPa
  - d) Struktur utama:
    - Profil Box GR50A. [6]
    - Profil Circullar Hollow YST310. [7]

- Profil WF BJ41 dan Siku BJ55. [8]
- e) Mutu baut sambungan menggunakan ASTM A325 untuk sambungan baut antar profil. [8]
- f) Mutu las yang digunakan adalah E70xx. [8]
- 2) Memperkirakan Tebal Pelat Lantai Kendaraan

Pelat lantai yang berfungsi sebagai jalan kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum  $t_s$ , dengan ketebalan 20 cm [9].

- 3) Menentukan Dimensi Busur

Sketsa *preliminary design* busur dapat dilihat pada Gambar 2. Nilai masing-masing komponennya harus memenuhi syarat sebagai berikut [3][10]:

Tinggi Busur

Tinggi busur jembatan dapat menggunakan syarat sebagai berikut:

$$\text{Syarat: } \frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \tag{1}$$

Tinggi Tangkap Busur

Tinggi tangkap busur rangka batang dengan batang tarik dapat menggunakan syarat sebagai berikut:

$$\text{Syarat: } \frac{1}{40} \leq \frac{t}{L} \leq \frac{1}{20} \tag{2}$$

Lebar Jembatan

Lebar jembatan dapat menggunakan syarat sebagai berikut:

$$\text{Syarat: } \frac{b}{L} \geq \frac{1}{20} \tag{3}$$



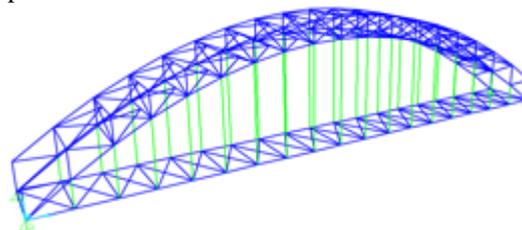
Gambar 2. Preliminary design busur.

- 4) Pembebanan

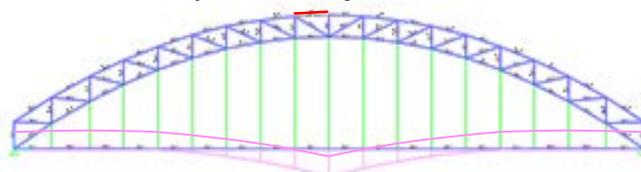
Pembebanan yang bekerja pada struktur jembatan terdiri dari beban mati (berat sendiri dan beban mati tambahan), beban hidup, beban angin dan beban gempa sesuai SNI 1725:2016 [11].

C. Permodelan dan Analisa Struktur Menggunakan SAP2000

Studi ini memodelkan Jembatan Sipait dengan menggunakan program bantu SAP2000. Pemodelan 2 Dimensi untuk mendapatkan garis pengaruh pada jembatan dan pemodelan 3 Dimensi untuk mendapatkan profil yang digunakan sesuai kombinasi pembebanan SNI 1725-2016 [11]. Gambar permodelan 3 dimensi dan 2 dimensi dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Pemodelan jembatan 3D dengan SAP2000.



Gambar 4. Pemodelan jembatan 2D dengan SAP2000 untuk mencari garis pengaruh.

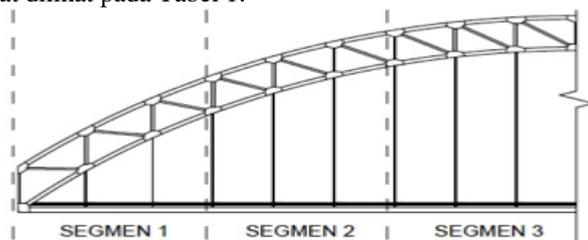
**D. Perencanaan Struktur Atas Jembatan**

Pelat lantai kendaraan direncanakan memiliki panjang 5m dan 5,5m dengan lebar 1,7m menggunakan beton bertulang. Tebal beton bertulang 20 cm dengan lapisan perkerasan aspal setebal 5 cm. Pelat lantai kendaraan menumpu langsung pada gelagar memanjang dan melintang yang didesain menggunakan profil WF dengan mutu baja BJ41 ( $f_u = 410$  Mpa dan  $f_y = 250$  Mpa). Profil untuk gelagar memanjang berupa WF 450x300x10x15 dan untuk gelagar melintang berupa WF 900x300x15x23.

Profil ikatan angin pada rangka busur ataupun pada lantai kendaraan menggunakan profil *circular hollow steel* dari Tata Steel dengan mutu YST310 dan profil Box dengan mutu GR50A dari PT. Gunung Raja Paksi[6]. Profil yang digunakan antara lain :

- 1) Ikatan angin lantai : *Circular Hollow* 219,1 x 6
- 2) Ikatan angin atas : *Circular Hollow* 219,1 x 4,8
- 3) Ikatan angin bawah : *Circular Hollow* 165,1 x 4,5
- 4) Ikatan angin silang : *Circular Hollow* 165,1 x 4,5
- 5) Ikatan angin horizontal: Box 180x180x8

Profil rangka utama menggunakan produk dari PT. Gunung Raja Paksi dengan mutu GR50A [6]. Bagian jembatan terdiri dari tiga segmen untuk mempermudah dalam pemilihan profil. Sketsa pembagian segmen jembatan dapat dilihat pada Gambar 5. Profil yang digunakan setiap segmen dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 5 Pembagian segmen jembatan.

Tabel 1.

Rekapitulasi profil rangka utama		
Segmen	Komponen	Profil (mm)
3	Atas	Box 400 x 400 x 25
	Bawah	Box 400 x 400 x 16
	Diagonal	Box 180 x 180 x 10
	Vertikal	Box 180 x 180 x 6,3
2	Atas	Box 400 x 400 x 25
	Bawah	Box 400 x 400 x 19
	Diagonal	Box 180 x 180 x 10
	Vertikal	Box 180 x 180 x 8
1	Atas	Box 400 x 400 x 25
	Bawah	Box 400 x 400 x 25
	Diagonal	Box 180 x 180 x 10
	Vertikal	Box 220 x 220 x 10
	Batang Tarik	Box 500 x 500 x 16

Perencanaan kabel penggantung menggunakan kabel dan fitting dari perusahaan Macalloy tipe Macalloy 520 M64 dengan diameter strand 60 mm dan *yield load* sebesar 1360 kN[12].

Perletakaan yang digunakan menggunakan *POT Bearing* dari perusahaan VSL dengan tipe PL 1000/600 (*free*), PU 1700/1200 (*guided*), PF 1700/1200 (*fixed*).

**E. Kontrol Elemen**

1) Kontrol Kapasitas Tarik

Batas kekuatan [8]

$$N_u \leq N_n \tag{4}$$

Nilai  $N_n$  diambil sebagai nilai terendah dari beberapa persamaan dibawah ini:

Kontrol leleh :

$$N_u \leq \phi_t f_y A_g \phi_t = 0.75 \tag{5}$$

Kontrol putus:

$$N_u \leq \phi_t f_u A_e \phi_t = 0.75 \tag{6}$$

Luas Penampang Efektif:

$$A_e = A_x \left(1 - \frac{x}{L}\right) \tag{7}$$

Dimana:

$N_u$  : Gaya Tarik aksial terfaktor (N)

$f_y$  : Tegangan leleh (MPa)

$f_u$  : Tegangan tarik putus (MPa)

$A_g$  : Luas penampang bruto (mm<sup>2</sup>)

$A_e$  : Luas penampang efektif (mm<sup>2</sup>)

$x$  : eksentrisitas sambungan (mm)

2) Kontrol Kapasitas Tekan

Batas kekuatan [8]

$$N_u \leq \phi_n N_n, \phi_n = 0.85 \tag{8}$$

Kekuatan tekan nominal

$$N_n = (0.66^{\lambda_c^2}) A_g \cdot f_y ; \text{ untuk } \lambda_c \leq 1,5 \tag{9}$$

$$N_n = \frac{(0,88)}{\lambda_c^2} A_g \cdot f_y ; \text{ untuk } \lambda_c \geq 1,5 \tag{10}$$

$$\lambda_c = \frac{L_k}{r\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \tag{11}$$

$$L_k = K_c \times L \tag{12}$$

Dimana:

$N_n$  : Kuat tekan nominal komponen (N)

$K_c$  : Faktor panjang tekuk untuk komponen struktur

$l_c$  : Kelangsingan Komponen Struktur Tekan

**F. Perencanaan Sambungan**

Sambungan yang digunakan pada Studi ini adalah sambungan baut tipe friksi dan sambungan las. Mutu baut yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2. Kontrol yang dilakukan pada sambungan adalah sebagai berikut:

1) Kuat geser nominal [8]:

$$V_n = 1.13 \times \mu \times m \times T_b \times \pi \tag{13}$$

Kuat rencana:

$$V_d = \phi V_n \tag{14}$$

Dimana:

$\mu$  : Koefisien geser (permukaan bersih = 0,35)

$m$  : jumlah bidang geser

$T_b$  : gaya Tarik minimum baut

$\phi$  : 0.75

$\pi$  : 1,00 untuk lubang standar

2) Jumlah Baut (n) :

$$n = \frac{v_u}{v_d} \tag{15}$$

3) Jarak antar Baut :

$$\text{Syarat: } 2.5d_b \leq S \leq 15t_p \tag{16}$$

4) Jarak Baut ke Tepi :

$$\text{Syarat: } 1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \tag{17}$$

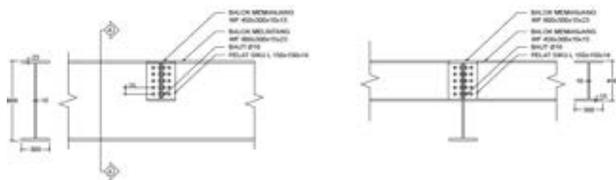
5) Kontrol Las :

$$1\text{cm las : } R_u = \phi \cdot t_e \cdot 0,6 \cdot F_{E80xx} \tag{18}$$

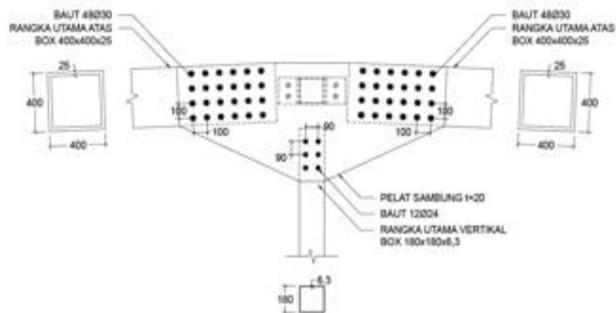
$$\text{Panjang las minimum} = \frac{P_u}{R_u} \tag{19}$$

Tabel 2.  
Gaya tarik baut minimum

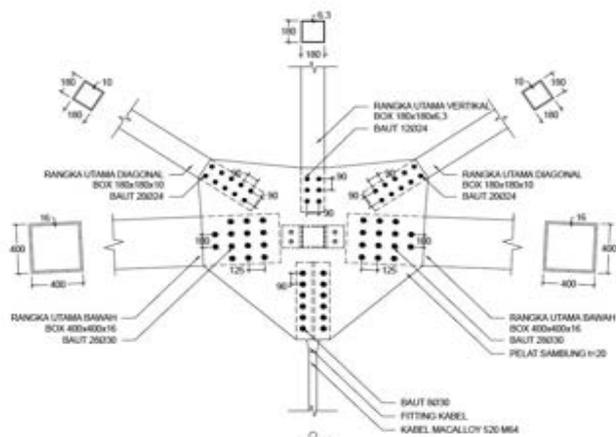
Diameter nominal baut (mm)	Gaya tarik minimum (kN)
16	95
20	145
24	210
30	335
36	490



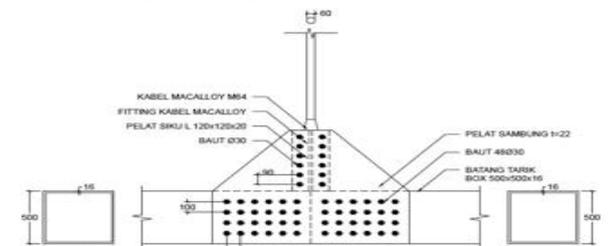
Gambar 6. Sambungan balok memanjang dan melintang.



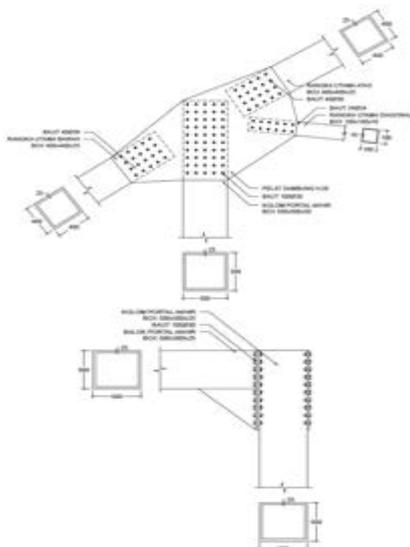
Gambar 7. Sambungan titik simpul A10.



Gambar 8. Sambungan titik simpul B10.



Gambar 9. Sambungan titik simpul C10.



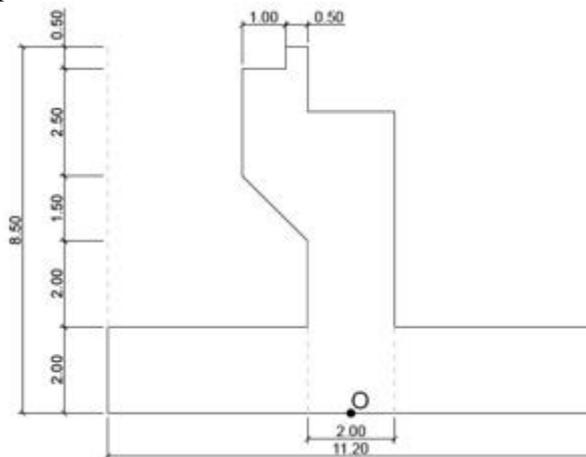
Gambar 10. Sambungan portal akhir.

G. Perencanaan Abutment

Dimensi abutmen direncanakan seperti pada Gambar 12. Sedangkan tiang pancang direncanakan menggunakan diameter 0,8 m dengan kedalaman 31 m. Dengan SF=3 maka didapatkan  $P_{Izin}$  1 Tiang = 3393,92 kN. Daya dukung tiang harus dikoreksi sesuai dengan persamaan Converse-Labare [13][14] :

$$C_e = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{s_1}{s}\right)}{90} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right) \quad (20)$$

Dengan faktor koreksi sebesar 0,616 maka didapatkan  $P_{Izin}$  grup = 2090,94 kN

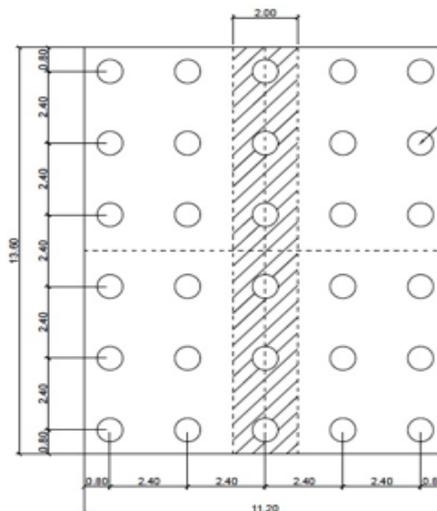


Gambar 11. Dimensi abutment.

Pembebanan pada abutment sesuai dengan SNI 1725-2016. Berikut hasil kombinasi pembebanan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3. Sedangkan konfigurasi tiang pancang dapat dilihat pada Gambar13.

Tabel 3. Gaya pada abutment

Beban	Gaya Terfaktor (kN)		Lengan Gaya	Momen (kN.m)	
	V	Hx Hy		My	Mx
POT 1	3852,8		4,75	-18300,9	
POT 2	3852,8		4,75	18300,9	
Abutmen	12444,0		0,23		2862,1
Berat Tanah	5603,2		3,64		20395,6
PA1		416,2	4,25		-1768,7
PA2		2620,3	2,83		-7415,4
Beban Rem		112,5	8,5		956,3
Eqx Bawah		3123,2	2,65		8276,5
Eqy Bawah		10410,7	2,65	27588,2	
Eqx Atas		685,1	7		4795,7
Eqy Atas		2283,7	7	15985,8	
<b>Total</b>	<b>25752,96</b>	<b>957,21</b>	<b>2694,3</b>	<b>43574,12</b>	<b>128102,2</b>



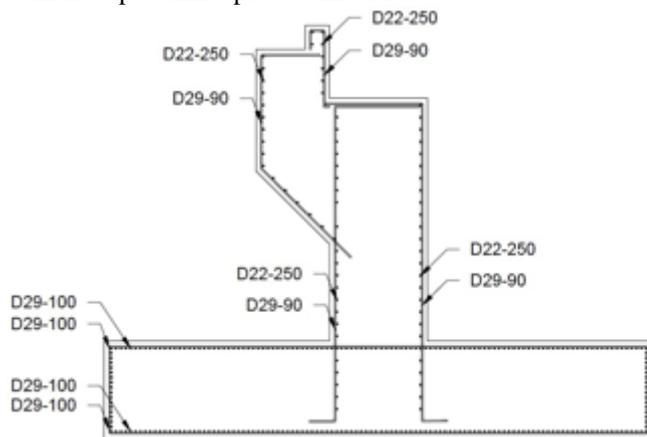
Gambar 12. Konfigurasi Tiang Abutment.

Dari kombinasi beban yang ada, dicari gaya maksimum yang terjadi pada tiang pancang dengan persamaan berikut [13][14]:

$$P_v = \frac{\sum P}{n} + \frac{M_x \cdot y_{\max}}{\sum y^2} + \frac{M_y \cdot x_{\max}}{\sum x^2} \quad (21)$$

$$P_v = 2044,85 \text{ kN} < P_{\text{ijin grup}} = 2090,94 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Penulangan pada abutment terdiri dari penulangan *pile cap* dan penulangan dinding abutment. Sketsa penulangan abutment dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Penulangan abutment.

### III. KESIMPULAN

- 1) Pelat lantai kendaraan menggunakan beton f'c 40 MPa dengan ketebalan 0,2 m yang dilapisi aspal dengan ketebalan 0,05 m.
- 2) Gelagar memanjang menggunakan profil dengan mutu BJ41. Ikatan angin menggunakan profil *Circular Hollow* dengan mutu YST310 dari Tata Steel dan profil Box dengan mutu GR50A dari PT. Gunung Raja Paksi.
- 3) Rangka utama menggunakan profil baja dari PT. Gunung Raja Paksi dengan mutu GR50A.
- 4) Kabel penggantung menggunakan tipe Macalloy 520

M64 dari perusahaan Macalloy.

- 5) Perletakan menggunakan *Pot Bearing* dari perusahaan VSL dengan pemilihan sebagai berikut:
  - a. Perletakan 1 : PF 1700/1200/H2 AA (*Fixed*)
  - b. Perletakan 2 : PU 1700/1200/H2 AA (*Guided*)
  - c. Perletakan 3 : PU 1700/1200/H2 AA (*Guided*)
  - d. Perletakan 4 : PL 1000/600 AA (*Free*)
- 6) Dimensi abutmen di desain dengan tinggi 8,5 m, lebar 11,5 m, dan tebal 2 m. Jumlah tiang pancang 25 buah dengan kedalaman 31m.
- 7) Tiang Pancang yang digunakan merupakan *prestressed concrete spun pile class A1* dari PT. Wijaya Karya Beton dengan diameter 0,8 m dan mutu beton f'c 50 MPa.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. J. Struyk and H. J. Struyk, "Jembatan," *1. Jemb. - Konstr. / oleh H.J. Struyk, K.H.C.W. Van der Veen; Bhs. Indones. oleh Soemargono*, vol. 1984, no. 1984, pp. 1-99, 1984.
- [2] Syarvina, "Mekanisme Gerusan Lokal Pada Pilar Silinder Tunggal Dengan Variasi Debit," Apr. 2015.
- [3] Harwiyono, H. Soegiharjo, and J. Irawan, *Diktat Jembatan Bentang Panjang*, 2007.
- [4] P. N. Hakikie and E. Wahyuni, "Perencanaan Ulang Jembatan Lemah Ireng II pada Jalan Tol Semarang-Bawen Menggunakan Jembatan Busur Rangka Baja," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, pp. D232-D237, Sep. 2017.
- [5] D. Aristadi, "Analisis Sistem Rangka Baja pada Struktur Jembatan Busur Rangka Baja."
- [6] PT. Gunung Raja Paksi, "Product Catalog," 2016.
- [7] Tata Steel, "Trata Structura," *Tata Steel*, 2013.
- [8] "RSNI T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan."
- [9] Badan Standarisasi Nasional (BSN), "RSNI-T-12-2004 Standar Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan," 2004.
- [10] Rio Prasmoro, "Modifikasi Jembatan Sembayat Baru II Menggunakan Sistem Jembatan Busur Rangka Baja."
- [11] "Pembebanan untuk Jembatan Badan Standardisasi Nasional 1725 2016," 2016.
- [12] M. Tensile, "Macalloy Tensile Structures," 2016.
- [13] B. Mahardhika and E. Wahyuni, "Perencanaan Modifikasi Rangka Busur Baja pada Jembatan Pemali disertai Damper sebagai Longitudinal Stopper," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 1, pp. 7-11, Mar. 2017.
- [14] H. Wahyudi, *Daya Dukung Pondasi Dalam*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS., 2013.