

Perencanaan Modifikasi Rangka Busur Baja pada Jembatan Pemali disertai Damper sebagai *Longitudinal Stopper*

Bintang Mahardhika dan Endah Wahyuni

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: endahwahyuni.its@gmail.com

Abstrak - Jembatan Pemali merupakan jembatan yang terletak di Kota Brebes. Jembatan ini menjadi akses penting yang menghubungkan antara Kota Semarang dan Kota Jakarta. Jembatan Pemali sering mengalami perbaikan dalam segi struktural setiap bulannya, hal ini diakibatkan oleh semakin padat volume kendaraan terutama truk dengan muatan berat. Permasalahan ini yang melatarbelakangi pembangunan Jembatan Pemali yang baru agar menunjang dalam sarana transportasi. Penelitian ini memodifikasi Jembatan Pemali menjadi sistem busur rangka baja. Jembatan didesain dengan tinggi 18 meter, bentang 100 meter dan lebar 9 meter. Penelitian ini menggunakan kombinasi pembebanan sesuai SNI T-02-2005 dan SNI 1725-2016. Dengan menggunakan program bantu SAP2000, kombinasi KUAT 1 (SNI-1725-2016) menghasilkan output gaya yang lebih besar daripada kombinasi lainnya sehingga kombinasi tersebut digunakan untuk menentukan profil rangka atas jembatan. Analisis pengaruh damper dengan tipe Lock-Up Device menggunakan program bantu SAP2000 dengan kombinasi beban yang menentukan dalam perencanaan damper sebagai longitudinal stopper adalah kombinasi EKSTREM I (SNI-1725-2016). Hasil dari analisis dengan program bantu SAP2000 profil utama yang terbesar pada jembatan busur menggunakan BOX 500x500x25 serta dengan adanya damper struktur utama jembatan mampu mengurangi deformasi sebesar 16%. Dalam merencanakan bangunan bawah jembatan, dilakukan kontrol guling dan geser pada abutment jembatan serta untuk tiang pancang jembatan dilakukan kontrol berdasarkan daya dukung tanah dan tipe material yang digunakan. Dari perencanaan tersebut, didapatkan dimensi abutment 11x11x10 meter serta kebutuhan tiang pancang jembatan 36 buah. Hasil seluruh perhitungan Penelitian ini dituangkan dalam gambar teknik standar.

Kata kunci : Abutment, Damper, Jembatan Busur Rangka Baja.

I. PENDAHULUAN

TRANSPOTASI merupakan alat yang sangat penting dalam perkembangan era global saat ini. Salah satu usaha yang menunjang transportasi adalah pembangunan infrastruktur jembatan. Dalam meningkatkan dan menunjang sarana transportasi keadaan jembatan harus dalam kondisi baik [1]. Kondisi jembatan yang kurang baik dapat menghambat kelancaran transportasi serta menimbulkan permasalahan baik material maupun sosial. Contohnya jembatan Pemali sering kali mengalami kerusakan dari segi strukturalnya, sehingga perbaikan pada Jembatan Pemali dapat terjadi setiap bulannya dan menyebabkan kemacetan transportasi.

Jembatan Pemali terletak di wilayah Kota Brebes yang sesuai peta wilayah gempa masuk pada zona gempa 3 [4],

[7]. Jembatan Pemali merupakan jembatan tipe kelas nasional di jalur pantura yang menjadi perbatasan antara Kota Jakarta dan Semarang (lihat Gambar 1). Saat ini terdapat jembatan lama bertipe rangka batang terbuka dengan 2 lajur 2 arah, lebar 9 meter, 2 bentang dan panjang tiap bentang 50,292 meter yang terbagi menjadi beberapa segmen (lihat Gambar 2).



Gambar 1. Lokasi Jembatan Pemali

Dengan meningkatnya volume lalu lintas saat ini, keadaan dari Jembatan Pemali sebagai tipe jembatan kelas nasional sangatlah perlu diperhatikan. Dengan kondisi jembatan yang perlu perbaikan terus menerus kurang bisa melayani volume lalu lintas yang ada. Untuk menghindari kegagalan struktur dalam meningkatkan infrastruktur, dibutuhkan jembatan baru yang selain kuat dalam memikul beban vertikal akibat kendaraan besar juga tahan terhadap gaya gempa pada Zona Gempa 3 [4].

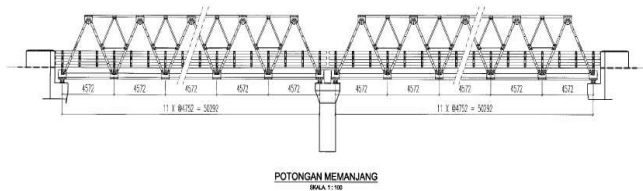
Dalam Penelitian ini direncanakan Jembatan Pemali yang baru dengan konstruksi rangka busur baja. Konstruksi busur rangka baja dinilai lebih efektif untuk jembatan bentang panjang karena bentuk busur mengurangi momen lentur yang ada di lapangan, sehingga penggunaannya lebih efisien daripada gelagar paralel. Konstruksi dari busur baja dipilih karena memiliki kekuatan yang cukup tinggi dengan luas penampang relatif lebih ramping daripada material beton [9].

Pada perencanaannya Jembatan Busur Pemali ini terdiri dari 1 bentang dengan panjang total 100 meter dengan pilar yang ada di tengah Jembatan Pemali diasumsikan tidak ada. Perencanaan modifikasi dengan tipe busur dikarenakan untuk jembatan tipe rangka baja hanya memiliki batas bentang sepanjang 60 meter (lihat Gambar 3) [9]. Pemilihan jembatan busur rangka baja juga disesuaikan dengan lapangan karena kedalaman dasar sungai yang tidak terlalu dalam.

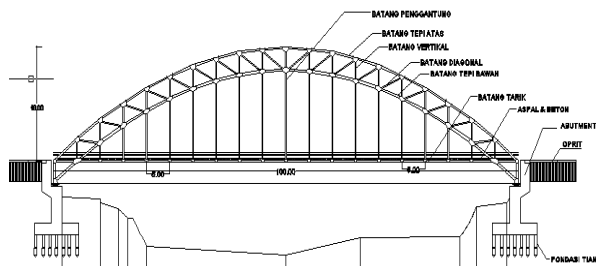
Salah satu tambahan pada Jembatan Pemali yang baru adalah pemberian damper dengan jenis LUD (*Lock-Up*

Device) sebagai *lateral stopper*[13]. Damper jenis LUD ini terlihat seperti sejenis dongkrak atau *shockbreaker* yang diletakkan pada pertemuan antara *abutment* dan jembatan busur baja. LUD menggunakan cairan khusus (gel silikon) yang menjadi bantalan khusus sebagai damper kontrol pasif (isolasi seismik). Damper jenis LUD ini berfungsi meminimalisir dan meredam pergerakan struktur saat gempa bumi terjadi, selain itu juga sebagai penahan gaya normal akibat rem kendaraan [7].

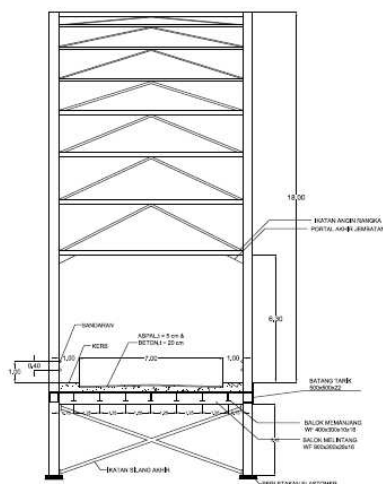
Dengan adanya Jembatan Busur Pemali ini diharapkan menjadi solusi dalam merancang sebuah jembatan yang kuat secara struktural dengan sistem busur yang dinilai lebih efisien dalam segi material. Dan dari segi estetika menjadi *landmark* tersendiri bagi Kota Brebes yang bisa meningkatkan perekonomian warga sekitar.



Gambar 2. Kondisi Jembatan Pemali yang ada

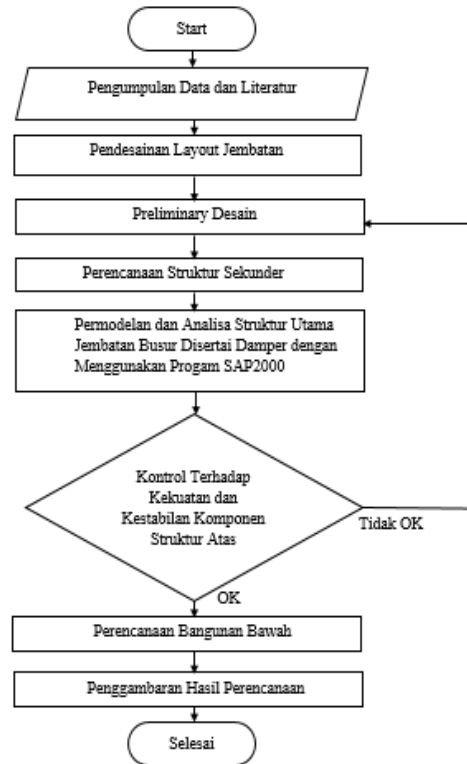


Gambar 3. Tampak Memanjang Jembatan Pemali dengan Rangka Busur Baja



Gambar 4. Tampak Melintang Jembatan Pemali dengan Rangka Busur Baja

II. METODOLOGI



Gambar 5. Diagram Alir

Adapun keterangan dari bagan metodologi di atas adalah sebagai berikut :

A. Studi literatur

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

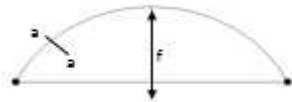
- a. Bridges Management System (BMS) 1992
- b. SNI T-02-2005
- c. SNI 03-2847-2002
- d. RSNI T-03-2005
- e. SNI 03-1729-2002
- f. SNI 2833-2008 (gempa jembatan)
- g. SNI 1725-2016

B. Pengumpulan data

- Data yang diperlukan antara lain :
- Bentang jembatan : 100 meter
 - Data tanah : Standar Penetrasi Test (SPT)
 - Lokasi : Kota Brebes
 - Ruas Jalan : JKT-SMG/Brebes
 - Letak Jembatan : 7.5 km dari pantai
 - Zona wilayah gempa : 3

C. Preliminary Design

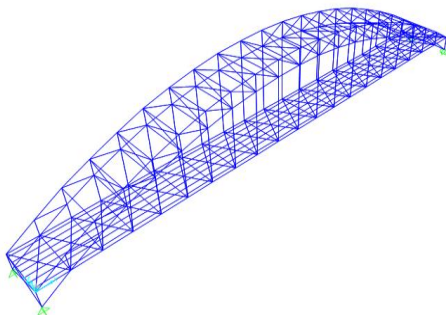
- a) Penentuan mutu bahan yang digunakan :
 - Mutu Beton ($f'c$) = 24 MPa.
 - Mutu Baja Tulangan (f_y) = 40 MPa.
 - Struktur utama BJ 50 (f_y) = 290 MPa.
 - Mutu baut sambungan menggunakan ASTM A325 untuk sambungan *base plate* dengan pondasi menggunakan ASTM A307 [2].
 - Mutu las yang digunakan adalah E70xx [2].



Gambar 6. Tinggi Busur

- b) Memperkirakan tebal pelat lantai kendaraan
 Pelat lantai yang berfungsi sebagai jalan kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum t_s , dengan ketebalan 20 cm [5]. Dengan profil untuk balok memanjang dan balok melintang sebagai berikut :
 Balok memanjang WF 400x300x10x16
 Balok melintang WF 900x300x28x16.

- c) Modelisasi Struktur
 Penelitian ini memodelkan Jembatan Busur Pemali dengan menggunakan program bantu SAP2000. Pemodelan 2 Dimensi untuk mendapatka garis pengaruh pada jembatan busur dan pemodelan 3 Dimensi untuk mendapatkan porfil yang digunakan sesuai kombinasi pembebanan SNI 1725-2016 [5].



Gambar 7. Pemodelan Jembatan dengan SAP2000

Profil rangka utama menggunakan brosur PT GUNUNG RAJA PAKSI yang memiliki mutu GR 50 A ($f_y = 345$ Mpa dan $f_u = 565$ Mpa) [11].

Berikut merupakan rekap profil rangka utama jembatan :

- Batang tepi atas segmen 1 Box 500 x 500 x 25
- Batang tepi atas segmen 2 Box 500 x 500 x 22
- Batang tepi atas segmen 3 Box 400 x 400 x 25
- Batang tepi bawah segmen 1 Box 400 x 400 x 16
- Batang tepi bawah segmen 2 Box 400 x 400 x 16
- Batang tepi bawah segmen 3 Box 400 x 400 x 16
- Batang vertikal Box 180 x 180 x 8
- Batang diagonal Box 180 x 180 x 10
- Batang vertikal akhir 500 x 500 x 19
- Batang tarik 500 x 500 x 22
- Kolom portal akhir 500 x 500 x 25
- Balok portal akhir 500 x 500 x 25
- Threadbars diameter 47 mm

- d) Perletakaan Jembatan
 Jenis perletakkan pada Penelitian ini adalah elastmer dengan brosur dari *Freyssinet* yang memiliki ukuran 600 x 600 mm dengan ketebalan 69 mm [8].

- e) Efektifitas Damper
 Untuk menentukan desain dari *Lock Up Device* sebelumnya dicari gaya yang bekerja pada titik pemasangan damper. Kombinasi yang digunakan untuk mencari gaya yang bekerja menggunakan kombinasi pembebanan SNI 1725-2016, dengan koefisien beban

(Ekstrem I) dan diinput kombinasi ke progam bantu SAP2000 untuk memperoleh gaya yang bekerja pada pemasangan damper [5].

Tabel 1.
 Gaya yang Bekerja pada Titik Pemasangan Damper Jembatan

Frame	Joint	OutputCase	F1
Text	Text	Text	Kgf
20	21	EKSTREM 1	-701606,72
149	21	EKSTREM 1	656737,17
209	21	EKSTREM 1	-1728,51
211	21	EKSTREM 1	41795,75
212	21	EKSTREM 1	0
279	21	EKSTREM 1	4802,3
40	44	EKSTREM 1	-700586,4
75	44	EKSTREM 1	655824,62
148	44	EKSTREM 1	-1714,61
211	44	EKSTREM 1	41671,55
213	44	EKSTREM 1	0
280	44	EKSTREM 1	4804,84
Max			656737,17
min			-701606,72

Sehingga dari gaya tersebut dapat ditentukan jenis damper yang akan digunakan pada jembatan adalah sebesar 2000 Kip. Efektifitas damper dalam mereduksi gaya dan displacement jembatan dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.
 Efektifitas Damper

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1-ND	U1-D	selisih
Text	Text	Text	m	m	%
21	beban rem	LinStatic	0,002362	0,001983	16,04572396
21	gempa	Combination	0,030904	0,025868	16,29562516
21	1,1D + 2SD + 1Q + 0,3TB	Combination	0,113896	0,09534	16,29205591
44	beban rem	LinStatic	0,00117	0,000973	16,83760684
44	gempa	Combination	0,030917	0,025877	16,30171103
44	1,1D + 2SD + 1Q + 0,3TB	Combination	0,113508	0,095005	16,30105367
average displacement					16,34562943

Hasil analisis pada progam SAP2000 penggunaan damper sebagai *lateral stopper* mempengaruhi pengurangan maksimum sebesar 16%.

- f) Sambungan Jembatan
 Sambungan yang digunakan pada Penelitian ini adalah sambungan baut tipe friksi [2].

Sambungan Balok Memanjang dan Balok Melintang

Profil Balok Memanjang WF 400x300x10x16
 $f_y : 250$ MPa $f_u : 410$ MPa $E_s : 200000$ MPa
 $d : 390$ mm $B : 300$ mm $t_w : 10$ mm
 $t_f : 16$ mm

V_u maksimum : 32051.53 Kg
 Pelat sambung siku 120x120x11 BJ 50

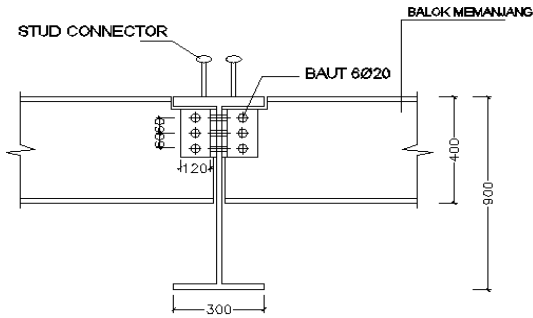
Baut tipe A325

Diameter baut (db) = 20 mm
 Gaya tarik minimum = 14500 Kg
 Jumlah bidang geser (m) = 2
 Φ (\emptyset) = 1 (lubang standar)
 μ = 0.35 (permukaan bersih)

Kekuatan Rencana Baut Tipe Gesek (Friction Type)

Kuat geser ($\emptyset V_n$) = $\emptyset \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b$ [10]
 = $1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 2 \cdot 14500$
 = 11469,5 Kg

$$\text{Jumlah Baut (n)} = \frac{Vu}{\phi Vn} = \frac{32051.53}{11469,5} = 2,79 \approx 3 \text{ buah}$$



Gambar 8. Sambungan Balok Memanjang ke Balok Melintang

Profil Balok Melintang WF 900x300x16x28

Fy : 250 MPa fu : 410 MPa Es : 200000 MPa
 d : 900 mm B : 300 mm tw : 28 mm
 tf : 16 mm

Vu maksimum : 32051.53 Kg
 Pelat sambung siku 120x120x11 BJ 50

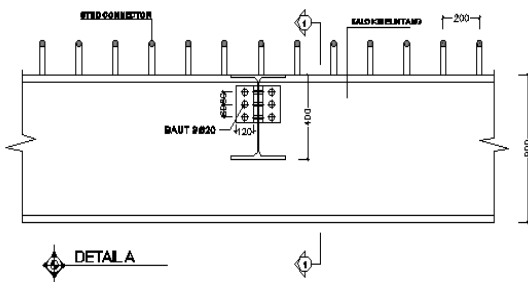
Baut tipe A325

Diameter baut (db) = 20 mm
 Gaya tarik minimum = 14500 Kg
 Jumlah bidang geser (m) = 1
 Phi (φ) = 1 (lubang standar)
 μ = 0.35 (permukaan bersih)

Kekuatan Rencana Baut Tipe Gesek (Friction Type)

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser } (\phi Vn) &= \phi \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \text{ [10]} \\ &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 14500 \\ &= 5734,75 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah Baut (n)} = \frac{Vu}{\phi Vn} = \frac{32051.53}{5734,75} = 5,589 \approx 6 \text{ buah}$$



Gambar 9. Sambungan Balok Melintang ke Balok Memanjang

Jarak Pemasangan Baut

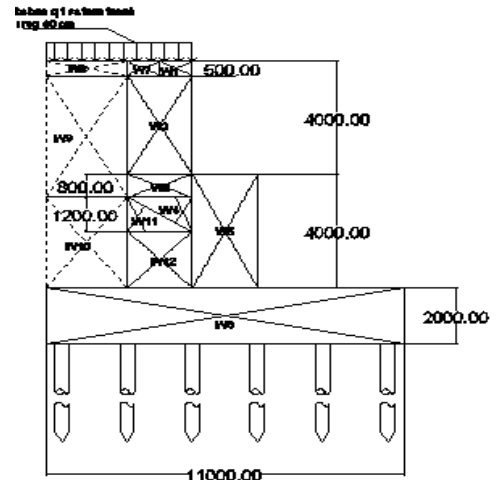
Syarat : $3db \leq S \leq 15tp$ atau 200 mm [10]
 $1.5db \leq S1 \leq (4tp + 100)$ atau 200 mm [10]

maka :

- $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm
 $3 \cdot 20 \leq S \leq 15 \cdot 12$ atau 200 mm
 dipakai $S = 60$ mm
- $1.5d_b \leq S \leq (4t_p + 100)$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 20 \leq S \leq (4 \cdot 10 + 100)$ atau 200 mm
- $30 \leq S \leq 144$ atau 200 mm
 Dipakai $S1 = 30$ mm

g) *Abutment* Jembatan

Berat sendiri dari *abutment* jembatan ditambah tanah dibelakangnya dibagi menjadi beberapa segmen. Pembagian segmen tersebut dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Sketsa Pembagian Beban pada *Abutment* Jembatan dan Tanah dibelakang *Abutment*

Pembagian segmen tersebut untuk mendapatkan berat total dari *abutment* dan tanah dibelakangnya. Perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3.

Berat Total *Abutment* dan Tanah dibelakang *Abutment*

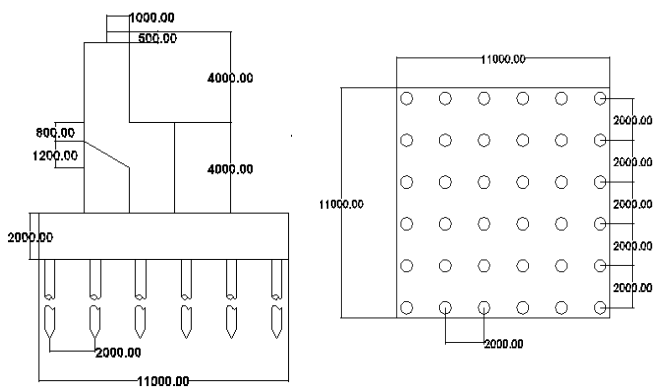
kode luasan	b (m)	h (m)	bentuk	luas (m ²)	lebar (m)	γ (t/m ³)	berat (ton)
W1	1	0,5		0,5	11	2,4	13,2
W2	2	4		8	11	2,4	211,2
W3	2	0,8		1,6	11	2,4	42,24
W4	2	1,2		1,2	11	2,4	31,68
W5	2	5,5		11	11	2,4	290,4
W6	14	2		28	11	2,4	739,2
W7	1	0,5		0,5	11	1,7	9,35
W8	4,5	0,5		2,25	11	1,7	42,075
W9	4,5	4,3		19,35	11	1,7	361,845
W10	4,5	3,2		7,2	11	1,7	134,64
W11	2	1,2		2,4	11	1,7	44,88
W12	2	2		4	11	1,7	74,8
TOTAL							1995,51

Berdasarkan berat total dari tabel diatas maka pembebanan pada struktur bangunan bawah Jembatan Busur Pemali dapat dilihat pada Tabel 4. [4].

Tabel 4.
Pembebanan pada Jembatan Busur Pemali

NO	BEBAN	NOTASI	V (ton0)	Hy (ton)	Hx (Ton)	lengan terhadap titik O (m)	My (tonm)	Mx (tonm)
1	beban Mati Bangunan Atas	A	2539,0278		0	0		
2	Beban Mati Bangunan Bawah + Tanah	B	1995,51			-0,01816	-36,2380751	
3	Tekanan Tanah Aktif	C		250,24		4	1000,96	
4	Beban Lalu Lintas + beban Kejut (DLA) + Beban Pejalan Kaki	D	748,125			0	0	
5	Rem	E		23		7,5	172,5	
6	Gesekan Perletakan Akibat Susut	F		0		7,5	0	
7	Arus	G			0	0		0
8	Tumbukan	H			0	0		0
9	Angin Pada Struktur	I			2,593	7,5		19,4475
10	Angin Pada Kendaraan	J			3,99	7,5		29,925
11	Gempa Pada Bangunan Atas	K		146,169	146,169	7,5	1096,2675	1096,268
12	Gempa Pada Bangunan Bawah	L		183,153	183,153	3,881719	710,9485035	710,9485
13	Tekanan Tanah Akhibat Gempa	M		322,375683		3,881719	1251,371854	
TOTAL			5282,6628	924,937683	335,905	49,24528	4195,809782	1856,589

Sesuai kontrol geser dan guling *abutment* serta kontrol tiang pancang sesuai kondisi tanah didapatkan dimensi *abutment* dengan panjang 11 meter, lebar 11 meter, dan tinggi 10 meter serta tiang pancang dari PT Wijaya Karya sebanyak 36 buah [12].



Gambar 11. Desain Abutment dan Konfigurasi Tiang Pancang

III. KESIMPULAN

1. Perencanaan pelat lantai kendaraan merupakan pelat beton yang memiliki ketebalan 20 cm dan dilapisi aspal dengan ketebalan 5 cm.
2. Profil struktur sekunder Jembatan Pemali menggunakan mutu baja BJ 41 dengan $f_u = 410$ Mpa dan $f_y = 250$ Mpa.
3. Dari hasil perhitungan struktur sekunder jembatan busur didapatkan :
 - Profil gelagar memanjang WF 400 x 300 x 10 x 16
 - Profil gelagar melintang WF 900 x 300 x 28 x 16
 - Ikatan angin lantai kendaraan L 150 x 150 x 16

- Ikatan angin rangka L 200 x 200 x 16
 - Ikatan silang angin rangka L 180 x 180 x 16
 - Batang horizontal ikatan angin rangka Box 180 x 180 x 8
 - Ikatan silang angin lantai kendaraan Box 180 x 180 x 8
4. Perletakaan yang digunakan menggunakan elastomer dengan ukuran 600 x 600 mm dengan ketebalan 69 mm.
 5. Hasil analisis pada program SAP2000 penggunaan damper sebagai *lateral stopper* mempengaruhi pengurangan maksimum sebesar 16%.
 6. *Abutment* jembatan memiliki tinggi 6 meter dan lebar 11 meter dengan lebar poer 11 meter dan tebal 2 meter. mutu beton yang digunakan adalah f'_c 40 Mpa.
 7. Pondasi struktur menggunakan tiang pancang *spun pile* PT. WIKA BETON dengan diameter 60 cm (Tipe A1) yang memiliki kedalaman 32 meter sesuai dengan penyelidikan tanah SPT (*Standard Penetration Test*). Jumlah tiang pancang yang dibutuhkan 36 buah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standardisasi Nasional. 1992. *Bridge Management System (BMS) Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- [2] Badan Standardisasi Nasional. 2002. *SNI 03-1729-2002 Standar Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [3] Badan Standardisasi Nasional. 2002. *SNI 03-2847-2002 Standar Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- [4] Badan Standardisasi Nasional. 2005. *SNI T-02-2005 Standar Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [5] Badan Standardisasi Nasional. 2005. *SNI 1725-2016 Standar Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [6] Badan Standardisasi Nasional. 2005. *SNI T-03-2005 Standar Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [7] Badan Standardisasi Nasional. 2008. *SNI 03-2833-2008 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [8] Freyssinet. 2008. *Elastomeric Bearings*. CE. France.
- [9] Harwiyono (alm), Ir., Dr. Ir. Hidajat Sugihardjo, MS., dan Ir. Joko Irawan, MS. 2007. *Diktat Kuliah Jembatan Bentang Panjang*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [10] Marwan dan Isdarmanu. 2006. *Buku Ajar Struktur Baja I*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [11] PT. Gunung Raja Paksi. 2001. *Square Hollow Section*. Steel Indonesia. Bekasi.
- [12] PT. Wijaya Karya. 2007. *Tiang Pancang Standart*. Wika Beton. Karawang.
- [13] Taylor. 1990. *Taylor Devices Inc*. 90 Taylor Drive. Amerika.