

# PERENCANAAN JEMBATAN “BERDIKARI” KALI GARANG

Deskhi Ardiono, M. Kahfi Fattahillah,

Sri Prabandiyani R.W.<sup>\*)</sup>, Suharyanto,

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl.Prof.Soedarto,SH., Tembalang, Semarang, 50239,

Telp.: (024) 7474770, Fax.: (024) 7460060

## Abstrak

*Dalam tugas akhir ini dilakukan perencanaan jembatan Berdikari – Kali Garang dengan menggunakan beton prategang box girder. Dimana tipe konstruksi yang digunakan adalah box girder segmental. Sedangkan untuk sistem prategang bentuk kantilever didasarkan pada pertimbangan panjang jembatan yang cukup panjang yaitu 240 m, dengan dibagi menjadi 3 bentang yaitu : 60 m + 120 m + 60 m.*

*Perencanaan jembatan ini dimulai dengan penjelasan mengenai latar belakang pemilihan tipe jembatan, perumusan tujuan perencanaan hingga lingkup pembahasan, dan diikuti dengan dasar – dasar perencanaan dimana analisa didasarkan pada peraturan BMS 1992. Dari data-data perencanaan kemudian dilakukan preliminary design dengan menentukan dimensi-dimensi utama jembatan. Pada tahap awal perencanaan analisa beban yang terjadi. Analisa beban yang terjadi yaitu analisa berat sendiri, analisa beban mati tambahan, analisa beban lalu lintas dan analisa pengaruh waktu yaitu pengaruh creep dan kehilangan prategang. Dari hasil analisa tersebut lalu dilakukan kontrol tegangan. Selanjutnya dilakukan perhitungan penulangan box, kontrol lendutan, perhitungan geser, perhitungan kekuatan dan stabilitas yaitu kontrol momen retak, momen batas, gaya membelah, dan torsi. Memasuki tahap akhir perencanaan dilakukan perencanaan perletakan.*

*Setelah tahap box selesai, kemudian dilakukan perencanaan struktur bawah dengan langkah awal mendimensi rencana penampang pilar dan abutment yang nantinya akan dihitung beban ultimit yang akan digunakan untuk menganalisa kekuatan pilar dan abutment. Tahap akhir dilakukan perencanaan pondasi pilar dan abutment. Akhir dari perencanaan ini dihasilkan bentuk dan dimensi penampang. Dimana yang nantinya akan dihitung harga dari bangunan tersebut yang akan digunakan*

*Kata kunci : Jembatan “Berdikari” Kali Garang, box girder segmental prategang, kantilever seimbang.*

## Abstract

*This final project consists of redesign of Berdikari-Kali Garang Bridge by using Prestressed Box Girder Concrete. The construction method that is used in this project is segmental box girder. And for the prestressed system, the type of cantilever is based on the*

*consideration of the length of this bridge which has 240 meters length, and is divided into 3 quarters, which are : 60 m + 120 m + 60 m.*

*The design of this bridge begins with the explanation of the background for the choice of the bridge type, the purpose for this study is followed with the fundamental of design, which is analyzed is based on the BMS '92. from the original data, the preliminary design is done by determining the main dimension of the bridge. In the initial phase, the design of load analyzed are used. Load analyze are self weight, dead load, additional weight, traffic load, and time analyze because of creep, and loss of prestressed. From the analyze, than did the allowable stress control. After, did the box reinforcement calculation, allowable deflection, shear calculation, strength and stability calculation which are crack moment control, limit moment, divided force, and torque. At the end of design stage is did the support design.*

*Upon completion stage box, then do the structural design under the initial step to determine cross-sectional dimensions of the pillars and abutments plan which will be calculated ultimate load that will be used to analyze the strength of pillars and abutments. Recent stages of planning the foundation pillars and abutments. The end result of this planning and cross section shape. Where that will be calculated from the price of the building to be used*

*Key word : “Berdikari” Kali Garang Bridge, segmental prestressed box girder, balanced cantilever.*

## **PENDAHULUAN**

### **Latar Belakang**

Kemacetan sudah menjadi masalah yang besar bagi warga Kota Semarang. Salah satu permasalahan transportasi dan lalu lintas di Kota Semarang terjadi karena tingginya jumlah kendaraan, serta belum terpenuhinya kebutuhan transportasi yang layak dan memadai. Untuk mengatasi masalah ini, salah satu pilihan strategis saat ini adalah dengan cara pembangunan Jalan Lingkar Luar Semarang atau Semarang Outer Ring Road (SORR). Secara umum rencana alternatif trase jalan *Outer Ring Road* Kota Semarang akan melewati wilayah Kecamatan Banyumanik, Kecamatan Gunungpati, Kecamatan Mijen, Kecamatan Ngaliyan, Kecamatan Tugu, Kecamatan Semarang Barat, Kecamatan Semarang Utara, Kecamatan Semarang Timur, Kecamatan Genuk, Kecamatan Pedurungan, Kecamatan Tembalang, dan Kecamatan Banyumanik. Alternatif trase ini akan melewati alur sungai yang berupa lembah curam yang dibentuk oleh aliran Sungai Kali Garang. Khususnya pada bagian yang melewati alur sungai berupa lembah curam yang dibentuk oleh Sungai Kali Garang, yaitu dengan

pembangunan jembatan yang memotong Sungai Kali Garang dan menghubungkan antara daerah Gunungpati dengan Banyumanik.

### **Maksud Dan Tujuan**

Maksud dari Perencanaan Jembatan “Berdikari” Kali Garang adalah untuk menghubungkan daerah Gunungpati dengan daerah Banyumanik sebagai penunjang alternatif trase untuk Semarang *Outer Ring Road* (SORR).

Tujuan dari Perencanaan Jembatan “Berdikari” Kali Garang adalah :

1. Untuk menunjang mobilisasi orang, barang dan jasa dari kawasan Gunungpati menuju Banyumanik atau sebaliknya.
2. Untuk menunjang alternatif trase Semarang *Outer Ring Road* (SORR).
3. Merancang jembatan yang efektif dan efisien untuk daerah tersebut.
4. Membantu mengurangi kemacetan di titik – titik seperti persimpangan Pasar Jatingaleh dan persimpangan depan RS Dr. Karyadi.

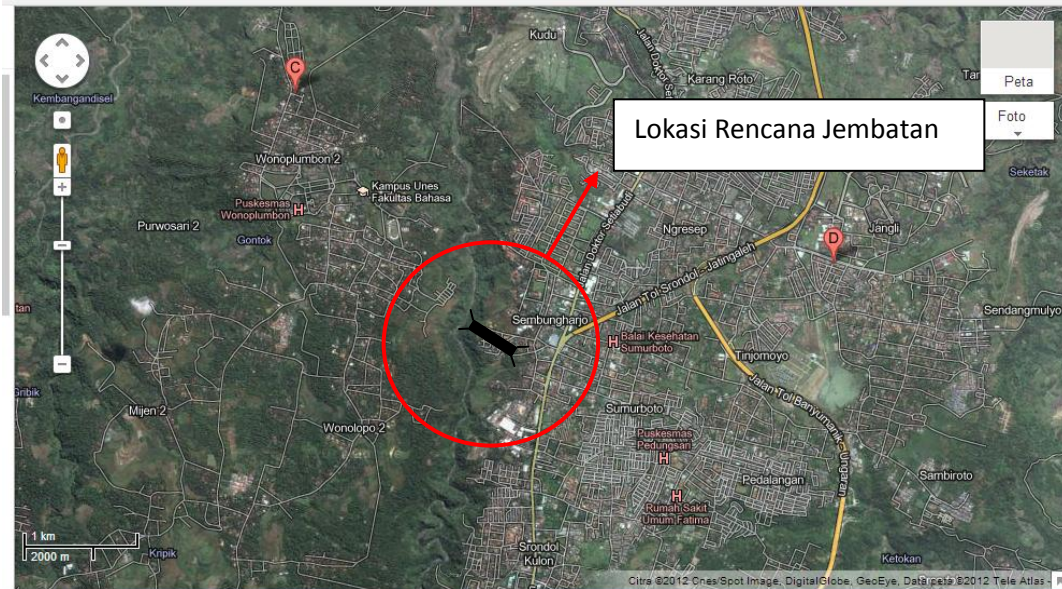
### **Ruang Lingkup**

Ruang lingkup perencanaan Jembatan “Berdikari” Kali Garang ini meliputi :

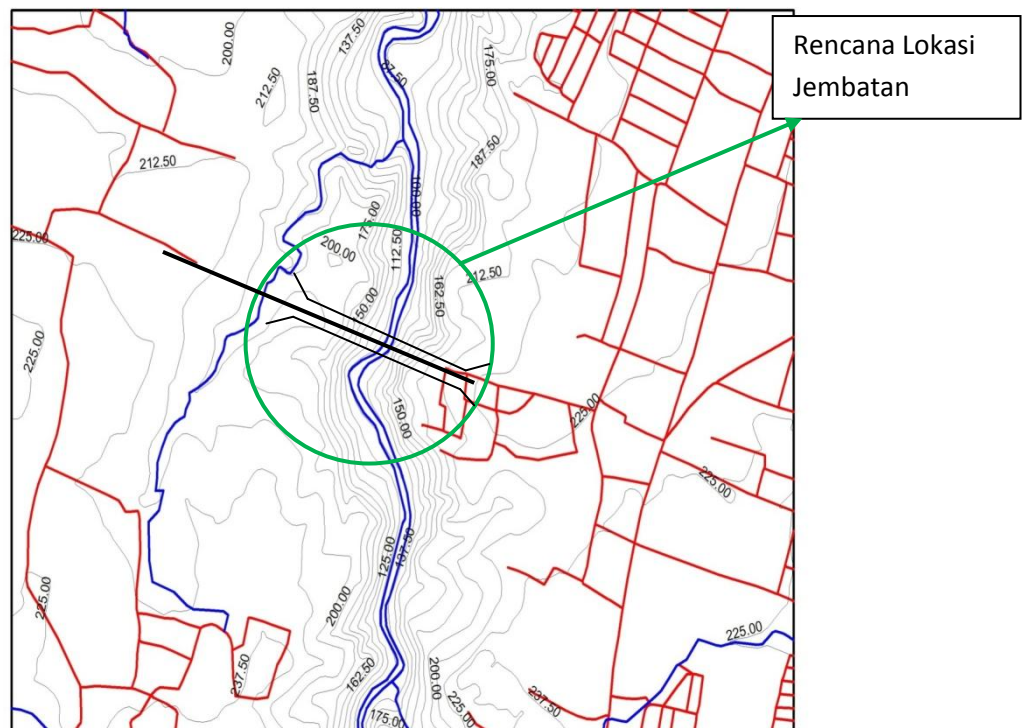
- a. Aspek Topografi
- b. Perhitungan mekanika tanah untuk mendapatkan daya dukung tanah.
- c. Konstruksi jembatan yang meliputi pembebanan struktur, struktur atas dan struktur bawah.
- d. Pehitungan struktur jembatan yang meliputi perhitungan struktur atas dan struktur bawah.
- e. Pembuatan gambar rencana atau *Detail Engineering Design (DED)*.
- f. Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) serta Rencana Kerja dan Syarat – Syarat (RKS) konstruksi jembatan.
- g. *Network Planning* dan *Time Schedule* pelaksanaan pekerjaan konstruksi jembatan.

### **Peta Topografi**

Hasil dari survei topografi yang dilakukan di lokasi perencanaan Jembatan “Berdikari” Kali Garang dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



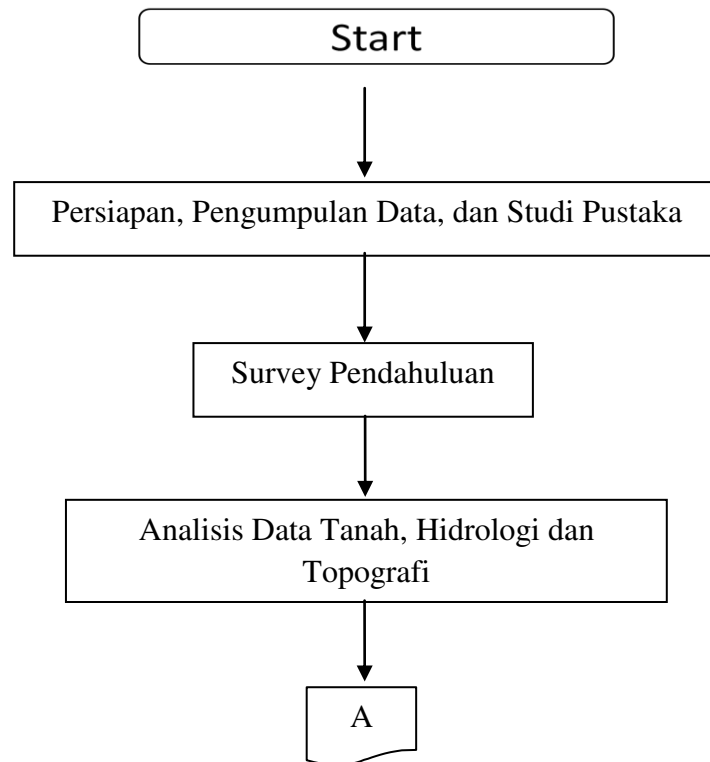
**Gambar 1. Peta Rencana Lokasi Jembatan**

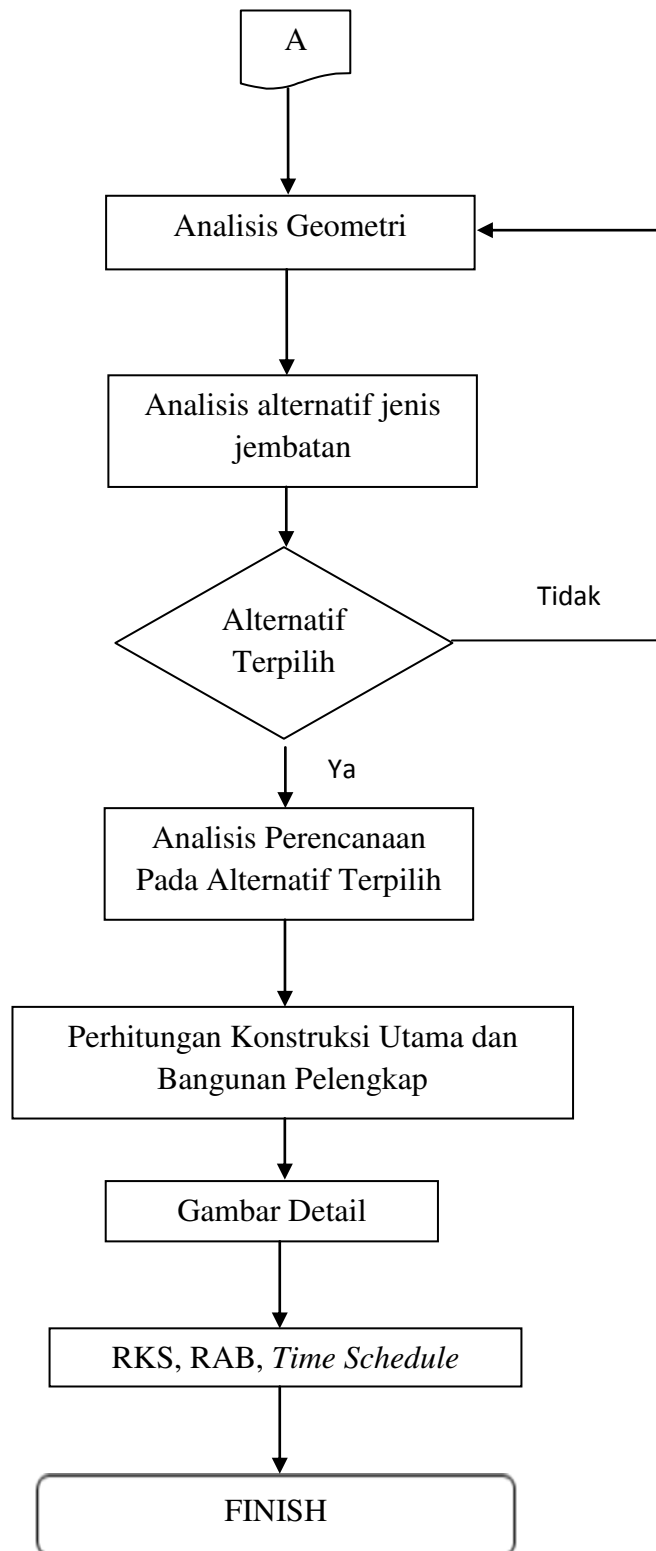


**Gambar 2. Peta Topografi Rencana Lokasi Jembatan**

## METODOLOGI

Adapun metode perencanaan jembatan Berdikari – Kali Garang di kota Semarang adalah sebagai berikut :





**Gambar 3.** Diagram Alir Perencanaan Tugas Akhir

## PERHITUNGAN KONSTRUKSI

### Data – data Struktur

Data – data perancangan seperti berikut :

1. Nama jembatan : Jembatan “Berdikari” Kali Garang
2. Lokasi : Kecamatan Banyumanik dan Kecamatan Gunungpati
3. Fungsi : Untuk menghubungkan Kecamatan Banyumanik dengan Kecamatan Gunungpati
4. Bentang jembatan : 240 meter terdiri dari 3 bentang
5. Lebar jembatan : 2 x 10,8 meter dengan 4/2 D {7 m lantai jembatan + (2 m bahu luar +1 m bahu dalam)}
6. Kelas jembatan : I
7. Bangunan atas : Gelagar *box girder* dengan beton prategang
8. Bangunan bawah : 2 buah abutment jenis *kontraport* dan 2 buah pilar
9. Tipe pondasi : Pondasi tiang *bored pile*

Spesifikasi pada perencanaan Jembatan “Berdikari” Kali Garang yang digunakan :

1. Konstruksi Atas
  - a. Mutu beton *box girder* dengan kuat tekan ( $f_c'$ ) = 60 mPa
  - b. Mutu beton *pier* dengan kuat tekan ( $f_c'$ ) = 50 mPa
  - c. Mutu baja pratekan digunakan kabel jenis *strand seven wire stress relieved* (7 kawat untaian), grade 270, A Strand = 98,71 mm<sup>2</sup>
  - d. Mutu baja yang digunakan untuk penulangan pelat lantai kendaraan dan penulangan praktis lainnya adalah baja dengan ( $f_y$ ) = 400 mPa
2. Konstruksi bawah
  - a. Abutment dan pilar
    - Mutu beton abutment dengan kuat tekan ( $f_c'$ ) = 50 mPa
    - Mutu baja yang digunakan untuk penulangan abutment adalah baja dengan ( $f_y$ ) = 400 mPa
  - b. Pondasi
    - Jenis : Tiang *Bored Pile*
    - Diameter : 100 cm
    - Mutu beton : K-350
    - Mutu baja : BJ 40 ( $f_y$  = 400 mPa)

## PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

Bentang total jembatan sepanjang 240 m terbagi menjadi 3 bentang, yaitu 60 m, 120 m dan 60 m dengan dua pilar dan dua abutment. Perencanaan dimensi profil *box girder* yang digunakan didapat dengan cara *trial and error* dan berdasarkan ketentuan *Precast Segmental Box Girder Manual*. Rencana dari profil *box girder* adalah sebagai berikut :

1. Untuk tiap sisi bentang kantilver dengan ketinggian antara 2,55 m sampai 5,60 m, profil *box girder* yang digunakan adalah dengan panjang 2,5 m sebanyak 8 buah, 2,75 m sebanyak 32 buah, dan 3,75 m sebanyak 32 buah.
2. Pada bagian di atas pilar, profil *box* yang digunakan adalah setinggi 6 m dengan panjang 4 m sebanyak 2 buah.
3. Untuk segmen penutup pada tengah bentang digunakan profil *box* dengan ketinggian 2,5 m dan panjang 2 m sebanyak 1 buah dengan metode *cast in site*.
4. Untuk segmen pada abutment digunakan profil *box* dengan ketinggian 2,5 m dan panjang 2 m sebanyak 2 buah dengan metode *cast in site*.
5. Jumlah total *box* yang digunakan untuk konstruksi jembatan ini adalah 77 segmen *box girder*.

### Pembebanan

1. Berat sendiri

Perhitungan berat sendiri stiap *box girder* dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Berat Sendiri *Box Girder* Tiap Segmen

No. Box				Tipe segmen <i>box girder</i>	H	A	Wc	Berat sendiri
					m	m <sup>2</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m
1			77	<i>abutment segmen</i>	2.50	17.2175	25.5	439.046
	39			<i>span segment cor in site</i>	2.50	7.044	25.5	179.622
2	38	40	76	<i>span segment tipe 18</i>	2.55	7.08005	25.5	180.541
3	37	41	75	<i>span segment tipe 17</i>	2.65	7.147	25.5	182.249
4	36	42	74	<i>span segment tipe 16</i>	2.75	7.21575	25.5	184.002
5	35	43	73	<i>span segment tipe 15</i>	2.85	7.2845	25.5	185.755
6	34	44	72	<i>span segment tipe 14</i>	2.95	7.3552	25.5	187.558
7	33	45	71	<i>span segment tipe 13</i>	3.05	7.42175	25.5	189.255
8	32	46	70	<i>span segment tipe 12</i>	3.15	7.4905	25.5	191.008
9	31	47	69	<i>span segment tipe 11</i>	3.25	7.55925	25.5	192.761
10	30	48	68	<i>span segment tipe 10</i>	3.30	7.5912	25.5	193.576
11	29	49	67	<i>span segment tipe 9</i>	3.40	7.66225	25.5	195.387



**Tabel 1.** Berat Sendiri *Box Girder* Tiap Segmen (Lanjutan)

No. <i>Box</i>				Tipe segmen <i>box girder</i>	H	A	Wc	Berat sendiri
					m	m <sup>2</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m
12	28	50	66	<i>span segment</i> tipe 8	3.60	7.79925	25.5	198.881
13	27	51	65	<i>span segment</i> tipe 7	3.80	7.95835	25.5	202.938
14	26	52	64	<i>span segment</i> tipe 6	4.00	8.07425	25.5	205.893
15	25	53	63	<i>span segment</i> tipe 5	4.30	8.28	25.5	211.14
16	24	54	62	<i>span segment</i> tipe 4	4.60	8.4788	25.5	216.209
17	23	55	61	<i>span segment</i> tipe 3	4.90	8.6842	25.5	221.447
18	22	56	60	<i>span segment</i> tipe 2	5.20	8.88755	25.5	226.633
19	21	57	59	<i>span segment</i> tipe 1	5.60	9.2148	25.5	234.977
20		58		<i>pier segment</i>	6.00	20.9155	25.5	533.345

## 2. Beban Mati Tambahan

Jenis beban – beban mati tambahan dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Jenis Beban Mati Tambahan

no	Jenis beban mati tambahan	Lebar b (m)	Tebal h (m)	Luas A (m <sup>2</sup> )	Berat sat W (kN/m <sup>3</sup> )	Beban Qma (kN/m)
1	Lapisan aspal + overlay	10	0.1	1,0	22	22
2	Air hujan	10	0.05	0.5	9.8	4.9
3	Tiang lampu					0.1
Total beban mati tambahan Qma =						27

## 3. Beban Lajur “D”

Beban lajur “D” terdiri dari beban terbagi merata UDL (*Uniformly Distributed Load*) dan beban garis KEL (*Knife Edge Load*) . UDL mempunyai intensitas q (kPa) yang besarnya tergantung pada panjang total L yang dibebani dan dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$q = 8,0 \quad \text{kPa} \quad \text{untuk } L < 30 \text{ m}$$

$$q = 8,0 * (0,5 + 15/L) \text{ kPa} \quad \text{untuk } L > 30 \text{ m}$$

KEL mempunyai intensitas  $p = 44,0 \text{ KN/m}$

Faktor beban dinamis (*Dinamic Load Allowance*) untuk KEL diambil sebagai berikut:

$$L_e = \sqrt{L_{rata2} \times L_{maks}}$$

$$= \sqrt{\frac{60+120+60}{3} \times 120}$$

$$= 97,979 \text{ m}$$

$$\text{Beban merata : } q = 8,0 \times (0,5 + 15/L) = 8,0 \times (0,5 + 15/240) = 4,50 \text{ kPa}$$

$$\text{Beban merata box girder : } Q_{td} = q \times (B + 5,5)/2 = 4,50 \times (10+5,5)/2 = 34,875 \text{ kN/m}$$

$$\text{Beban garis : } p = 44,00 \text{ kN/m}$$

$$\text{Faktor beban dinamis: } Le > 90 \text{ m } \quad DLA = 0,30$$

Beban terpusat pada box girder :

$$P_{td} = (1+DLA) \times p \times (B+5,5)/2 = (1+0,3) \times 44,00 \times (10+5,5)/2 = 443,30 \text{ kN}$$

#### 4. Gaya rem

Gaya rem dapat diambil besarnya sama dengan 5% beban lajur “D” tanpa memperhitungkan faktor beban dinamis.

$$T_{TB} = 0,05 \times [(34,875 \times 120) + 341] = 226,3 \text{ kN}$$

$$T_{TB} < 250 \text{ kN}$$

Diambil gaya rem,  $T_{TB} = 226,3 \text{ kN}$

#### 5. Beban Angin

Beban garis merata tambahan arah horizontal pada permukaan lantai jembatan akibat angin yang meniup kendaraan di atas lantai jembatan dihitung dengan :

$$C_w = \text{koefisien seret} = 1,20$$

$$T_{EW} = 0,0012 C_w (V_w)^2 \text{ (kN/m)}$$

$$V_w = 30 \text{ m/det}$$

$$T_{EW} = 0,0012 \times 1,50 \times (30 \text{ m/det})^2$$

$$T_{EW} = 1,62 \text{ kN/m}$$

Bidang vertikal yang ditiup angin merupakan bidang samping kendaraan dengan tinggi, 2 m di atas lantai jembatan.

$$Q_{EW} = \left( \frac{1}{2} \times \frac{h}{x} \times T_{EW} \right) 2 = \left( \frac{1}{2} \times \frac{2,00}{1,75} \times 1,62 \right) 2$$

$$Q_{EW} = 1,85 \text{ kN/m}$$

#### 6. Beban gempa

Gaya gempa vertikal pada balok dihitung dengan menggunakan percepatan vertikal ke bawah sebesar  $0,1 \times g$  dengan,

$$g = \text{percepatan gravitasi bumi} = 9,81 \text{ m/det}^2$$

$$\text{Gaya gempa vertikal rencana : } T_{EQ} = 0,10 \times W_t$$

$W_t$  = Berat total struktur yang berupa

berat sendiri dan beban mati tambahan

$$W_t = P_{MS} + P_{MA}$$

$$\text{Berat sendiri, } Q_{MS} = 215,969 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat mati tambahan, } Q_{MA} = 24,848 \text{ kN/m}$$

$$W_t = (Q_{MS} + Q_{MA}) \times L = (215,969 + 24,848) \times 240 = 57.796,08 \text{ kN}$$

$$T_{EQ} = 0,10 \times W_t = 0,10 \times 57.796,08 \text{ kN} = 5.779,608 \text{ kN}$$

$$Q_{EQ} = T_{EQ}/L = 5.779,608 / 240 = 20,0817 \text{ kN/m}$$

## 7. Beban Pelaksanaan

Penggunaan alat *launching gantry* dengan berat yang diasumsikan yaitu 130 ton .

Selain berat *launching gantry*, terdapat pula beban pelaksanaan merata sepanjang *box* sebesar  $0,285 \text{ ton/m}$ .

## Perhitungan Tendon

Dalam perancangan jembatan jenis *box girder balanced cantilever segmental* ini menggunakan 3 macam tendon yaitu :

### a. Tendon Kantilever

Dalam tendon kantilever beban yang dimasukan adalah: beban mati, *launching gantry* dan beban pelaksanaan dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Tendon Kantilever.

No Joint	Fo (N)	F=Fo/0,8 (N)	F tendon (N)	fpu (Mpa)	Astrand (mm <sup>2</sup> )	Jumlah Strand	Jumlah strand dlm 1 web	Rencana jumlah duct/web	Jumlah strand tiap tendon		Type VSL		
									asli	rencana			
2	38	711226.9	889033.65	889033.648	1860	98.71	6.917451	3.458725267	1	3.458725	4	19	Sc
3	37	2734139	3417673.7	2528640.006	1860	98.71	19.67501	9.837502889	1	9.837503	11	19	Sc
4	36	5923604	7404505.6	3986831.949	1860	98.71	31.021	15.5105	1	15.5105	16	19	Sc
5	35	10158733	12698417	5293911.093	1860	98.71	41.19121	20.59560299	1	20.5956	21	21	Sc
6	34	15339011	19173764	6475347.405	1860	98.71	50.3838	25.19190104	2	12.59595	13	19	Sc
7	33	21375994	26719993	7546228.663	1860	98.71	58.71618	29.35809213	2	14.67905	15	19	Sc
8	32	28196139	35245174	8525181.564	1860	98.71	66.33328	33.16664217	2	16.58332	17	19	Sc
9	31	36008326	45010407	9765232.874	1860	98.71	75.98196	37.99097791	2	18.99549	19	19	Sc
10	30	43732122	54665153	9654745.875	1860	98.71	75.12227	37.56113571	2	18.78057	19	19	Sc
11	29	51044897	63806122	9140968.58	1860	98.71	71.12464	35.5623199	2	17.78116	19	19	Sc
12	28	56861800	71077250	7271128.832	1860	98.71	56.57567	28.28783485	2	14.14392	15	19	Sc
13	27	62660644	78325806	7248555.087	1860	98.71	56.40003	28.20001322	2	14.10001	15	19	Sc
14	26	68403417	85504271	7178465.864	1860	98.71	55.85467	27.92733584	2	13.96367	15	19	Sc
15	25	72478548	90598185	5093913.977	1860	98.71	39.63506	19.81752774	1	19.81753	11	19	Sc
16	24	76572541	95715677	5117491.115	1860	98.71	39.81851	19.909253	1	19.90925	11	19	Sc
17	23	80731279	100914098	5198421.712	1860	98.71	40.44822	20.22410801	1	20.22411	21	21	Sc
18	22	84175907	105219884	4305785.817	1860	98.71	33.50274	16.75136845	1	16.75137	19	19	Sc
19	21	86545668	108182084	2962200.365	1860	98.71	23.04848	11.52424014	1	11.52424	13	19	Sc

### b. Tendon Tengah

Dalam tendon tengah beban yang dimasukan adalah: beban mati, beban pelaksanaan pada box tengah. Perencanaan tendon dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Tendon Segmen Tengah.

No Joint		Fo	F= Fo/0,8	F tendon	fpu	A strand	Jumlah Strand	Jumlah strand dlm 1	Rencana jumlah duct/web	Jumlah strand tiap		Type VSL	
		(N)	(N)	(N)	(Mpa)	(mm <sup>2</sup> )				asli	rencana		
57	21	-3228153	-4035191	-4035191	1860	98.71	-31.3973	-15.6986	1	-15.6986	1	1	Sc
56	22	-3162123	-3952653	82537.675	1860	98.71	0.642214	0.321107	1	0.321107	1	1	Sc
55	23	-2941450	-3676813	275840.15	1860	98.71	2.146275	1.073137	1	1.073137	1	1	Sc
54	24	-2617835	-3272294	404518.71	1860	98.71	3.147505	1.573753	2	0.786876	1	1	Sc
53	25	-2227079	-2783849	488445.23	1860	98.71	3.800526	1.900263	2	0.950132	1	1	Sc
52	26	-1756386	-2195482	588367.14	1860	98.71	4.578005	2.289003	2	1.144501	2	2	Sc
51	27	-1141305	-1426631	768850.44	1860	98.71	5.982321	2.991161	2	1.49558	2	2	Sc
50	28	-444558.3	-555697.9	870933.63	1860	98.71	6.776617	3.388308	2	1.694154	2	2	Sc
49	29	352420.32	440525.4	996223.26	1860	98.71	7.751478	3.875739	2	1.93787	2	2	Sc
48	30	1219382.2	1524227.8	1083702.4	1860	98.71	8.432141	4.216071	2	2.108035	3	3	Sc
47	31	2103792.4	2629740.5	1105512.7	1860	98.71	8.601845	4.300923	2	2.150461	3	3	Sc
46	32	3392046.4	4240058	1610317.5	1860	98.71	12.52966	6.264831	2	3.132416	4	4	Sc
45	33	4763675.4	5954594.3	1714536.3	1860	98.71	13.34057	6.670287	2	3.335144	4	4	Sc
44	34	6228318.2	7785397.7	1830803.4	1860	98.71	14.24523	7.122617	2	3.561308	4	4	Sc
43	35	7790143.7	9737679.7	1952282	1860	98.71	15.19044	7.595221	2	3.79761	4	4	Sc
42	36	9458485	11823106	2085426.6	1860	98.71	16.22642	8.113211	2	4.056606	5	5	Sc
41	37	11241883	14052354	2229247.4	1860	98.71	17.34547	8.672736	2	4.336368	5	5	Sc
40	38	13152610	16440762	2388408.6	1860	98.71	18.58388	9.291942	2	4.645971	5	5	Sc
39		15066972	18833715	2392952.9	1860	98.71	18.61924	9.309622	2	4.654811	5	5	Sc

c. Tendon Menerus/ Service

Dalam tendon tengah beban yang dimasukan adalah: beban mati tambahan, beban lajur. Perencanaan tendon dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Tendon Segmen Saat Service (Momen Negatif)

No Joint		Fo	F= Fo/0,8	F tendon	fpu	Astrand	Jumlah Strand dlm 1 web	Rencana jumlah duct/web	Jumlah strand tiap tendon		Type VSL	
		(N)	(N)	(N)	(Mpa)	(mm <sup>2</sup> )			asli	rencana		
6	72	2595566.44	3244458.1	3244458.06	1860	872.17	6.229758	1	6.22976	27	27	Sc
7	71	9689357.56	12111697	8867238.89	1860	2383.7	17.02619	1	17.0262	27	27	Sc
8	70	18323500.3	22904375	14037136.4	1860	3773.4	26.95303	1	26.953	27	27	Sc
9	69	28812629.2	36015787	21978650.1	1860	5908.2	42.20171	2	21.1009	27	27	Sc
10	68	38070827.9	47588535	25609884.7	1860	6884.4	49.17413	2	24.5871	27	27	Sc
11	67	47336487.2	59170609	33560724.3	1860	9021.7	64.44071	3	21.4802	27	27	Sc
12	66	55398813.9	69248517	35687793.1	1860	9593.5	68.52495	3	22.8416	27	27	Sc
13	65	88911758.8	111139698	75451905.4	1860	20283	144.8769	4	27.2192	27	27	Sc
14	64	100646031	125807539	50355633.5	1860	13536	96.689	4	24.1723	27	27	Sc
15	63	109813888	137267361	86911727.1	1860	23363	166.8812	4	41.7203	27	27	Sc
16	62	119005320	148756650	61844923.3	1860	16625	118.7499	4	29.6875	27	27	Sc
17	61	128209462	160261827	98416904.1	1860	26456	188.9726	4	47.2431	27	27	Sc
18	60	136066528	170083160	71666256.3	1860	19265	137.608	4	34.402	27	27	Sc
19	59	141857536	177321920	105655664	1860	28402	202.8719	4	50.718	27	27	Sc
20	58	148150348	185187935	79532271	1860	21380	152.7117	2	76.3559	27	27	Sc
21	57	140208398	175260498	95728226.7	1860	25733	183.81	4	45.9525	27	27	Sc
22	56	132095447	165119309	69391081.8	1860	18654	133.2394	4	33.3099	27	27	Sc
23	55	121673533	152091916	82700834.1	1860	22231	158.7958	4	39.6989	27	27	Sc
24	54	109324042	136655052	53954217.9	1860	14504	103.5987	4	25.8997	27	27	Sc
25	53	96554527.6	120693160	66738941.6	1860	17941	128.147	4	27.0367	27	27	Sc
26	52	83267900.3	104084875	37345933.8	1860	10039	71.70878	4	17.9272	27	27	Sc
27	51	67349257.5	84186572	46840638.1	1860	12592	89.93978	4	22.4849	27	27	Sc
28	50	51265246.1	64081558	17240919.5	1860	4634.7	33.10468	2	16.5523	27	27	Sc
29	49	34614982.7	43268728	26027808.9	1860	6996.7	49.97659	2	24.9883	27	27	Sc
30	48	12056849	15071061	-10956748	1860	-2945	-21.0383	2	-10.5192	27	27	Sc

Tabel 6. Tendon Segmen Saat Service (Momen Positif)

No Joint		Fo	F= Fo/0,8	F tendon	fpu	Astrand	Jumlah Strand dlm 1 web	Rencana jumlah duct/web	Jumlah strand tiap tendon		Type VSL	
		(N)	(N)	(N)	(Mpa)	(mm <sup>2</sup> )			asli	rencana		
31	47	394423.602	493029.5	493029.503	1860	132.53	0.946677	1	0.94668	27	27	Sc
32	46	16470732.9	20588416	20095386.6	1860	5402	38.58561	2	19.2928	27	27	Sc
33	45	31569812.5	39462266	19366879.1	1860	5206.2	37.18679	2	18.5934	27	27	Sc
34	44	45605647.7	57007060	37640180.6	1860	10118	72.27377	3	24.0913	27	27	Sc
35	43	58464831.7	73081040	35440859	1860	9527.1	68.0508	3	22.6836	27	27	Sc
36	42	70037393.9	87546742	52105883.4	1860	14007	100.0497	3	33.3499	27	27	Sc
37	41	80178550.9	100223189	48117305.2	1860	12935	92.39114	4	23.0978	27	27	Sc
38	40	88728832.6	110911041	62793735.6	1860	16880	120.5717	4	30.1429	27	27	Sc
39		93373770.1	116717213	53923477.1	1860	14496	103.5397	4	25.8849	27	27	Sc

## Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang

Pengaruh prategang dibagi menjadi dua, yaitu sebelum kehilangan gaya prategang (*loss prestressed*) dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu :

1. Kehilangan gaya pratekan langsung yaitu kehilangan gaya pratekan yang terjadi segera setelah peralihan gaya pratekan (waktu jangka pendek) yang meliputi:
  - Akibat slip anker
  - Perpendekan elastis
  - Gesekan kabel
2. Kehilangan pratekan berdasarkan fungsi waktu, yaitu kehilangan gaya pratekan yang tergantung pada waktu (waktu jangka tertentu) yang meliputi :
  - Akibat rangkai beton (*creep*)
  - Susut beton (*shrinkage*)
  - Relaksasi baja (*relaxation*)

## Perhitungan Penulangan Box

Untuk perhitungan tulangan segmen box girder menggunakan 2 perbandingan sistem pengangkatan box girder saat tahap pelaksanaan, 2 sistem tersebut menggunakan sistem bentang optimum dan momen optimum,

Dari analisa SAP, diambil momen terbesar untuk mendesain tulangan *box girder*.

Momen maksimal pada masing – masing *flens*, yaitu :

Momen *flens* atas = 77.956.668 Nmm (D16-200 dan D16-300).

Momen *flens* tegak/*web* = 94.059.627 Nmm (D16-150 dan D16-250).

Momen *flens* bawah = 59.136.620 Nmm (D16-250 dan D16-300).

## PERANCANGAN STRUKTUR *PIER*

### Beban Kerja Pada Pier

Beban- beban pada pier terdapat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

**Tabel 7. Beban Pada Pier**

No	Aksi / Beban	Kode	Vertikal	Horizontal		Momen	
			P	T <sub>x</sub>	T <sub>y</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>
			(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)
	Aksi Tetap						
1	Berat sendiri	MS	82953.75				
2	Beban Mati Tambahan	MA	2981.76				
	Beban Lalu lintas						
3	Beban Lajur "D"	TD	7268.54				
4	Gaya Rem	TB		452.6		25277.71	
	Aksi Lingkungan						
5	Beban Angin	EW	177.737	369.542	729	8869.008	37725.75
6	Beban Gempa	EQ		2028.693	2037.103	63477.81	70240.291

**Tabel 8. Kombinasi Beban Ultimit Kolom Pier**

No	Kombinasi Beban	P <sub>u</sub>	T <sub>ux</sub>	T <sub>uy</sub>	M <sub>ux</sub>	M <sub>uy</sub>
		(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)
1	Kombinasi - 1	128340	905.2	0	50555.42	0
2	Kombinasi - 2	128554	1348.65	874.8	61198.23	45270.9
3	Kombinasi - 3	114017	1348.65	874.8	61198.23	45270.9
4	Kombinasi - 4	128554	443.4504	874.8	10642.81	45270.9
5	Kombinasi - 5	114017	2472.143	2911.903	74120.62	115511.19

### Analisa Kekuatan Pier Jembatan

1. Tinjauan Pier Arah Memanjang Jembatan

Pier arah memanjang di hitung menggunakan diagram interaksi yang menghasilkan tulangan utama sebesar 157 D 32 dan tulangan geser sebesar 6 D 13 – 200.

2. Tinjauan Pier arah Melintang Jembatan

Pier arah melintang di hitung menggunakan diagram interaksi yang menghasilkan tulangan geser sebesar 6 D 13 – 200.

3. Tinjauan Portal Pier

Perhitungan momen dan gaya lintang di hitung berdasarkan program SAP sehingga didapatkan :

- Pier Head :

$$M_{max} = -56872.49 \text{ kNm dan } 30751.387 \text{ kNm}$$

$$V_{max} = 24084.91 \text{ kN}$$

Sehingga pier head didapatkan tulangan utama didaerah tumpuan sebesar 98 D 32 dan tulangan utama didaerah lapangan sebesar 52 D 32. Dan tulangan geser sebesar 4 D 19 - 50

- Diafragma :

$M_{max} = -10228.2 \text{ kNm}$  dan  $3476.5404 \text{ kNm}$

$V_{max} = 3690.512 \text{ kNm}$

Sehingga pier head didapatkan tulangan utama didaerah tumpuan sebesar 13 D 22 dan tulangan utama didaerah lapangan sebesar 21 D 22. Dan tulangan geser sebesar 3 D 16 - 125

#### 4. Perhitungan Pondasi Pilar

Untuk menentukan jumlah dari tiang bor harus dilakukan dengan penyelidikan kekuatan tanah dengan beberapa metode seperti : Metode Bogeman, Cara Umum, Metode Trafimankove, dari beberapa metode tersebut diambil nilai yang terkecil.sehingga didapat jumlah tiang sesuai pada Tabel 9.

**Tabel 9.** Penentuan Jumlah Tiang

No	Kombinasi Beban	V (ton)	H (ton)	n	Jumlah dipakai
1	Kombinasi 1	16346.646	90.52	47.7318	48
2	Kombinasi 2	16367.974	134.865	47.794	48
3	Kombinasi 3	14914.266	134.865	43.5492	48
4	Kombinasi 4	16367.974	44.345	47.794	48
5	Kombinasi 5	14914.266	247.214	43.5492	48

Kemudian dari tiang rencana diatas dilakukan lah pengontrolan terhadap jumlah tiang group, ternyata hasilnya sesuai pada Tabel 10.

**Tabel 10.** Kontrol Jumlah Tiang

No	Kombinasi Beban	V (ton)	Pall (ton)	n	Jumlah dipakai	Ppenahan
1	Kombinasi 1	16346.646	342,469	47.7318	48	16438,512
2	Kombinasi 2	16367.974	342,469	47.794	48	16438,512
3	Kombinasi 3	14914.266	342,469	43.5492	48	16438,512
4	Kombinasi 4	16367.974	342,469	47.794	48	16438,512
5	Kombinasi 5	14914.266	342,469	43.5492	48	16438,512

## PERENCANAAN STRUKTUR ABUTMENT

### Beban Kerja Pada Abutment

Beban kerja dapat dilihat pada Tabel 11 dan Tabel 12.

**Tabel 11.** Beban Kerja Pondasi

No	Aksi / Beban	P	T <sub>x</sub>	T <sub>y</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>
		(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)
1	Berat sendiri	17835,43			-37353	
2	Beban mati tambahan	654.26			-65.226	
3	Tekanan Tanah		3179.99		8176.84	
4	Beban Lajur "D"	1150.98			115.098	
5	Gaya Rem		452.6		2987.16	
6	Temperatur		22.5		87.75	
7	Beban Angin	55.543		135.35	-5.55	801.668
8	Beban Gempa		4153.361	5037.4	17246.71	21660.82
9	Tekanan Tanah Dinamis		3236.8		14241.94	
10	Gesekan		58.327		262.47	

**Tabel 12.** Rekapitulasi Kombinasi Beban Ultimit Pondasi

No	Aksi / Beban	P <sub>u</sub>	T <sub>ux</sub>	T <sub>uy</sub>	M <sub>ux</sub>	M <sub>uy</sub>
		(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)
1	Kombinasi - 1	26852.08	4961.015	135.35	-31919.1	882.876
2	Kombinasi - 2	25645.56	4508.415	0	-35015.9	0
3	Kombinasi - 3	25701.1	4508.415	135.35	-35021.4	882.876
4	Kombinasi - 4	25701.1	4508.415	135.35	-35022.5	882.876
5	Kombinasi - 5	24494.58	10570.15	5037.4	-9023.89	21660.82

### Pembesian Abutment

#### 1. Breast Wall

Pada Breast Wall digunakan tulangan utama sebesar D 25 – 100 dan tulangan bagi sebesar D 16 - 200

#### 2. Back Wall Bawah

Pada Back Wall digunakan tulangan utama sebesar D 16 – 100 dan tulangan bagi sebesar D 12 - 125

#### 3. Back Wall Atas

Pada Back Wall Atas digunakan tulangan utama sebesar D 16 – 150 dan tulangan bagi sebesar D 12 – 200



#### 4. Wing Wall

Pada Wing Wall digunakan tulangan utama sebesar D 16 – 100 dan tulangan bagi sebesar D 16 – 125 dan Wing wall tinjauan arah horisontal digunakan tulangan utama sebesar D 16 -150 dan tulangan bagi sebesar D 12 – 150.

#### 5. Pondasi Abutment.

Pada Pondasi Abutment digunakan pondasi sebanyak 14 buah.

#### 7. Plat injak

Pada tulangan plat injak arah melintang jembatan digunakan D16 – 200 dan pada tulangan plat injak arah memanjang digunakan D16 – 150

#### 8. Diafragma

Diafragma jembatan dipasang setiap panjang 30 m dari pangkal jembatan. Pada tulangan diafragma digunakan tulangan utama sebesar 24D16 da

## **PENUTUP**

### **Kesimpulan**

1. Analisa dan kontrol tegangan dilakukan dengan 3 tahap, yaitu tahap akibat beban pelaksanaan, tahap akibat segmen tengah (*closure*), dan tahap akibat beban *service* ketika semua *span* telah terbentuk serta menerima beban lalu lintas.
2. Dalam perencanaan tendon/*strand*, merujuk kepada perhitungan tegangan. Untuk tendon/*strand* atas digunakan analisa tegangan pada tahap beban pelaksanaan dan tahap beban *service* (tegangan di atas tumpuan). Untuk tendon/*strand* bawah digunakan analisa tegangan pada tahap akibat beban tengah (*closure*), dan tahap akibat beban *service* (tegangan ditengah bentang utama jembatan) ketika semua *span* telah terbentuk serta menerima beban lalu lintas. Dari perhitungan, dapat digunakan *strand* tipe VSL 19 Sc.
3. Perhitungan kehilangan tegangan yang terjadi, yaitu akibat slip anker, akibat perpendekan elastis, gesekan kabel, rangkai beton, susut beton, dan relaksasi baja. Perhitungan kehilangan tegangan dilakukan pada ketiga tahap seperti pada analisa tegangan.
4. Perhitungan tulangan *box girder* menggunakan permodelan struktur 2D. Perhitungan tulangan *box* diambil segmen dengan momen terbesar
5. Perhitungan kekuatan dan stabilitas yaitu kontrol terhadap momen retak, momen batas 4 telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Kontrol gaya membelah pada desain

ini diperlukan tulangan membelah D22-100, dan untuk kontrol torsi tidak diperlukan tulangan torsi. Pada kontrol lendutan, telah memenuhi batas yang ditentukan.

6. Untuk desain perletakan didapatkan desain elastomer dengan dimensi 700 mm x 1400 mm x 72 mm *grade 60 Shore A durometer hardness*. Pada *pier segment*, digunakan 4 buah *prestressing rods* Tipe VSL 27 Sc.
7. Pada perencanaan tiap *pier* didesain 2 buah kolom bulat  $\varnothing$  4 m yang memiliki 3 buah diafragma diantaranya serta *pier head* dengan ukuran 4 m x 2,5 m. Penulangan pada *pier* digunakan tulangan longitudinal 157 D 32 dan tulangan geser spiral D13 – 200. Kontrol stabilitas *pier* dihitung berdasarkan pengaruh berat struktur, pengaruh P – Delta, dan pengaruh *buckling*.
8. Pada perencanaan abutment, masing – masing bagian yaitu *backwall*, *breastwall*, *corbel*, dan *pile cap*, direncanakan secara berbeda sesuai dengan beban yang terjadi pada bagian – bagian tersebut.
9. Pada perencanaan pondasi *bored pile*, penyelidikan kekuatan tanah dilakukan dengan Metode Bogeman, cara umum, dan Metode Trafimankove. Metode – metode ini digunakan untuk menentukan nilai dari  $P_{all}$  untuk perhitungan jumlah tiang bor yang dibutuhkan. Pada pondasi untuk pilar digunakan *bored pile*  $\varnothing$  1 m sebanyak 48 buah, sedangkan untuk abutment digunakan *bored pile*  $\varnothing$  1 m sebanyak 14 buah.
10. Diafragma pada struktur atas untuk mengakomodasi tekuk torsi yang terjadi pada struktur atas. Diafragma ditempatkan tiap jarak 30 m pada struktur atas *box girder*.