

Analisis Struktur Bangunan Bawah Jembatan Kereta Api Way Pengubuan

Aulia Vinandhitha¹⁾

Setyanto²⁾

Nur Arifaini³⁾

Abstract

The bridge is one of kind constructions to facilitate the process of sending coal that carried by the Babaranjang Train. The purpose of this study is to design the railway bridge lower structure and to find out the safety factor based on the load from fixed actions, environmental actions, traffic loads, and other actions.

Based on the lower structure analysis, the abutment has dimensions of 7,67 m high and 6 m long. With the abutment dimensions, the safety factor of rolling stability control are 2,5825 for x direction and 28,9128 for y direction, with a rolling safety factor of 2,5.. The safety factor of shear stability control are 1,1003 for x direction and 1,9991 for y direction, with a shear safety factor of 1,1.. The pile cap has dimensions of 1,5 m thick, 8,8 m wide and 6 m long.

The foundation used is a bored pile with a diameter amounted to 1 m and a depth amounted to 6 m. The number of foundations used was 12 pieces with an arrangement of 3 x 4. The maximum axial bearing capacity amounted to 1979,497 kN and the concession axial bearing capacity amounted to 3072,403 kN.

Key Words : Bridge Lower Structure, Abument, Pile Cap, Bored Pile

Abstrak

Jembatan merupakan salah satu konstruksi yang berguna untuk meluncurkan proses pengiriman batu bara yang diangkut oleh KA Babaranjang. Tujuan dari penelitian ini adalah merencanakan struktur bawah jembatan kereta api dan mengetahui tingkat keamanan berdasarkan beban dari aksi tetap, aksi lingkungan, beban lalu lintas, dan aksi lainnya.

Berdasarkan penelitian analisis struktur bawah didapatkan dimensi abutment dengan tinggi 7,67 m dan panjang 6 m. Dengan dimensi abutment tersebut diperoleh angka aman untuk kontrol stabilitas guling arah x sebesar 2,5825 dan arah y sebesar 28,9128, dengan batas aman stabilitas guling sebesar 2,5. Kontrol stabilitas geser arah x sebesar 1,1003 dan arah y sebesar 1,9991, dengan batas aman stabilitas geser sebesar 1,1. Dimensi pile cap digunakan tebal 1,5 m, lebar 8,8 m, dan panjang 6 m.

Pondasi yang digunakan adalah pondasi tipe bored pile dengan diameter sebesar 1 m dan kedalaman sebesar 6 m. Jumlah pondasi yang dipakai 12 buah dengan susunan 3 x 4. Dan diperoleh daya dukung aksial maksimum sebesar 1979,497 kN serta daya dukung aksial izin sebesar 3072,403 kN.

Kata Kunci : Struktur Bawah Jembatan, Abument, Pile Cap, Bored Pile

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
surel:aulia.vinandhitha@gmail.com

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung.

1. PENDAHULUAN

Pengiriman batu bara dari tempat pertambangan menuju ke kota dibawa dengan menggunakan kereta. Namun kereta yang membawa batu bara ini berbeda dengan kereta biasanya, kereta yang digunakan adalah kereta api batu bara rangkaian panjang (babaranjang). KA Babaranjang ini merupakan kereta api jenis barang yang mengangkut batu bara milik PT. Tambang Batubara Bukit Asam yang bekerja sama dengan PT. Kereta Api Indonesia. KA Babaranjang memiliki jumlah gerbong yang banyak sampai dengan 60 gerbong untuk satu rangkaian dengan panjang satu gerbong masing-masing 15 meter dan memiliki kecepatan operasi 40 s.d. 80 km/jam. Rute yang dilalui oleh KA Babaranjang ini adalah Tarahan – Tanjungenim Baru. (Wikipedia)

Kota Bumi, Lampung Utara merupakan salah satu daerah yang dilalui oleh KA Babaranjang. Seluruh jalan dan jembatan yang akan dilalui oleh KA Babaranjang ini harus memenuhi syarat dan memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban batu bara yang akan dibawa dengan kereta api batu bara rangkaian panjang. Pada umumnya untuk perhitungan konstruksi jembatan terbagi atas dua bagian, yaitu struktur atas jembatan dan struktur bawah jembatan. Pada struktur atas jembatan akan memikul langsung beban lintas yang terjadi sedangkan struktur bawah jembatan akan memikul beban diatasnya dan meneruskan beban-beban tersebut ke lapisan tanah keras.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Jembatan

Menurut Supriyadi dan Muntohar (2007), jembatan merupakan suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan dapat melintasi sungai atau aliran air, lembah, ataupun melintasi jalan lainnya yang memiliki elevasi yang berbeda. Berikut bentuk dan tipe jembatan yang ada dan telah berkembang hingga masa kini:

- 2.1.1. Jembatan Lengkung Batu (*Stone Arch Bridge*)
- 2.1.2. Jembatan Rangka (*Truss Bridge*)
- 2.1.3. Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*)
- 2.1.4. Jembatan Beton (*Concrete Bridge*)
- 2.1.5. Jembatan Hausband (*Cable Stayed*)

2.2. Struktur Jembatan

Jembatan terbagi menjadi dua struktur utama yaitu struktur atas dan struktur bawah.

2.2.1. Struktur Atas

Struktur atas jembatan atau bangunan atas merupakan bagian dari jembatan yang menerima beban-beban yang ditimbulkan oleh lalu lintas atau kendaraan yang melintas. Beban yang diterima oleh struktur atas jembatan akan disalurkan ke struktur bawah jembatan hingga ke pondasi. Struktur atas terdiri dari beberapa bagian, antara lain:

- a. Slab lantai kendaraan
- b. Gelagar (girder)
- c. Balok diagfragma
- d. Ikatan pengaku (ikatan angin, ikatan melintang)
- e. Tumpuan (bearing)

2.2.2. Struktur Bawah

Struktur bawah jembatan atau bangunan bawah merupakan bagian dari jembatan yang memikul seluruh beban pada struktur atas dan beban lain yang ditimbulkan oleh tekanan tanah, aliran air dan hanyutan, tumbukan, gesekan pada tumpuan, untuk kemudian disalurkan ke pondasi. Selanjutnya beban-beban tersebut disalurkan oleh pondasi ke tanah dasar. Struktur bawah terdiri dari beberapa bagian, antara lain:

- a. Pangkal jembatan (abutment),
 - Dinding belakang (back wall)
 - Dinding penahan (breast wall),
 - Dinding sayap (wing wall)
 - Oprit, plat injak (approach slab)
 - Konsol pendek untuk jacking (corbel),
 - Tumpuan (bearing).
- b. Pilar jembatan (pier),
 - Kepala pilar (pier head),
 - Pilar (pier),
 - Konsol pendek untuk jacking (corbel),
 - Tumpuan (bearing).
- c. Pondasi

2.3. Struktur Jalan Rel

Jalan rel kereta api merupakan jalur khusus yang dibuat untuk jalannya suatu kereta api. Dalam Peraturan Menteri Perhubungan PM. 60 Tahun 2012 dijelaskan komponen-komponen pada jalan rel, antara lain:

- 2.3.1. Badan Jalan
- 2.3.2. Balas dan Subbalas
- 2.3.3. Bantalan
- 2.3.4. Alat Penambat
- 2.3.5. Rel

2.4. Beban pada Struktur Bawah Jembatan

Abutment harus direncanakan berdasarkan kombinasi pembebanan maksimum dari seluruh beban yang bekerja. Beban-beban yang diperhitungkan dalam perencanaan abutment adalah sebagai berikut:

- 2.4.1. Beban Mati
- 2.4.2. Beban Hidup
- 2.4.3. Beban Kejut
- 2.4.4. Beban Horizontal
- 2.4.5. Beban Angin
- 2.4.6. Beban Gempa
- 2.4.7. Tekanan Tanah Dinamis Akibat Gempa

Seluruh pembebanan dihitung pula besar momen yang terjadi terhadap abutment. Beban – beban yang berpengaruh terhadap abutment dikombinasikan dan digunakan kombinasi terbesar. Penggunaan kombinasi pembebanan pada jembatan kereta api mengacu pada kombinasi pembebanan jalan raya RSNI-02-2005 dengan menyesuaikan beban yang bekerja pada jembatan kereta api.

2.5. Pembebanan pada Pondasi Jembatan

- Distribusi tegangan pada pondasi momen bekerja dua arah, arah x dan arah y

$$P_u = \frac{P}{n} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y}{\sum y^2} \quad (1)$$

- Kapasitas ijin kelompok tiang

$$E_f = 1 - \theta \frac{(n' - 1) \cdot m + (m - 1) \cdot n'}{90 \cdot m \cdot n'} \quad (2)$$

- Kapasitas ijin maksimum kelompok tiang

$$P_{izin} = E_f \cdot Q_a \quad (3)$$

2.6. Daya Dukung Pondasi

Dalam menentukan daya dukung pondasi dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan kekuatan bahan, hasil uji SPT (Standard Penetration Test), hasil uji CPT (Cone Penetration Test), dan hasil uji laboratorium.

2.6.1. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang Berdasarkan Kekuatan Beton

$$P_{izin} = (A \cdot f_c) - W \quad (4)$$

2.6.2. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang Berdasarkan Hasil Uji SPT (Meyerhof, 1976)

$$P_{izin} = A_b \cdot (40 \cdot N) \cdot \frac{L}{D} + 2 \cdot \bar{N} \cdot A_s \quad (5)$$

2.6.3. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang Berdasarkan Hasil Uji CPT (Bagement, 1965)

$$P_{izin} = A_b \cdot q_c + A_s \cdot q_f \quad (6)$$

2.7. Penulangan Struktur Bawah

Pada penulangan abutment dan pondasi dilakukan perhitungan berdasarkan momen dan gaya geser ultimit untuk menentukan tulangan lentur dan tulangan geser. Perhitungan dilakukan berdasarkan SNI-2847-2019 dan ACI Handbook - The Reinforced Concretes.

2.7.1. Tulangan Lentur

- Rasio tulangan

$$\rho = 0,85 \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot R_n}{0,5 \cdot f_c'}}\right) \quad (7)$$

- Jarak tulangan yang diperlukan

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \frac{b}{A_s} \quad (8)$$

- Luas tulangan

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{b}{s} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (9)$$

2.7.2. Tulangan Geser

- Kuat geser nominal

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \quad (10)$$

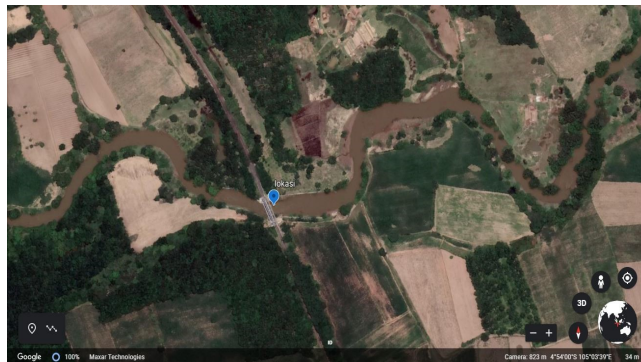
- Jarak tulangan geser

$$S = \frac{A_{sv} \cdot b \cdot f_y}{V_n - V_c} \quad (11)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Dalam penelitian ini Jembatan Kereta Api Jalur Ganda yang ditinjau berlokasi di Sungai Way Pengubuan, Kecamatan Way Pengubuan, Kabupaten Lampung Tengah.



Gambar 1. Peta lokasi

3.2. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan antara lain:

- Data tanah.
- Data pembebanan kereta api.
- Data penampang sungai.
- Data gambar dan pembebanan struktur atas jembatan.

3.3. Pengolahan Data

Pada tahapan pengolahan data dilakukan analisa dari data yang didapatkan. Analisa yang dilakukan antara lain:

- Analisa dan penulangan abutment
- Analisa dan penulangan pile cap.
- Analisa dan penulangan pondasi bored pile.
- Analisa daya dukung tanah.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Struktur Atas Jembatan

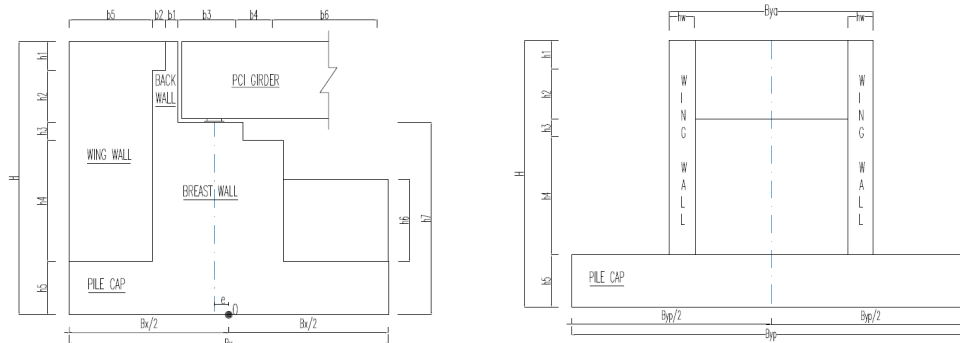
Jembatan yang digunakan dalam perencanaan ini menggunakan struktur beton prategang atau PC I Girder. Jembatan Way Pengubuan merupakan jembatan kereta api dengan rute lintasan Tarahan – Muara Enim sepanjang 35 meter.

4.2. Data Rel Kereta Api

Dalam perencanaan digunakan lebar jalan rel 1435 mm, maka berdasarkan PM no. 60 Tahun 2012 dapat diketahui bahwa kelas jalan rel yang akan digunakan adalah kelas jalan I. Dimana kecepatan maksimum (V_{maks}) yang digunakan adalah 160 km/jam dan Tipe rel yang digunakan adalah R60.

4.3. Data Struktur Bawah Jembatan

Struktur bawah jembatan direncanakan menggunakan beton bertulang. Bagian-bagian dari struktur bawah jembatan terdiri dari *back wall*, *breast wall*, *wing wall*, dan *pile cap*.



Gambar 2. Potongan memanjang dan melintang abutment

Tabel 1. Dimensi Abutment

Notasi	Ukuran	Satuan	Notasi	Ukuran	Satuan
h1	0,82	m	b1	0,35	m
h2	1,45	m	b2	0,35	m
h3	0,5	m	b3	1,8	m
h4	3,4	m	b4	1,1	m
h5	1,5	m	b5	2,3	m
h6	2,3	m	b6	2,9	m
h7	5,4	m	b7	0,7	m
			b8	3,6	m
Xa	1,0	m	Xb	0,8	m
Panjang bentang jembatan	L	m			
Panjang balok prategang	L'	m			
Lebar <i>pile cap</i> arah X	Bx	m			
Panjang <i>pile cap</i> arah Y	Byp	m			
Panjang <i>abutment</i> arah Y	Bya	m			
Tebal <i>wing wall</i>	hw	m			
Titik pusat pondasi, (0,5.Bx)	O	m			
Garis beban struktur atas	P	m			
Eksentrisitas, (P-O)	e	m			

4.4. Data Material

Material yang digunakan pada perencanaan jembatan ini adalah sebagai berikut:

- Berat volume tanah timbunan, W_{so} = 17,3 kN/m³
- Sudut gesek tanah timbunan, Φ = 35 °
- Kohesi tanah timbunan, C = 0 kPa
- Berat volume tanah asli, W_{so} = 14,1 kN/m³
- Sudut gesek tanah asli, Φ = 31,6 °
- Kohesi tanah asli, C = 21,3785 kPa
- Mutu beton K – 350, f_c' = 29,05 Mpa
- Mutu baja tulangan BJ 40, f_y = 400 MPa

4.5. Pembebanan pada Abutment

Beban yang diterima oleh abutment merupakan beban yang dipengaruhi oleh berat struktur atas, berat struktur bawah, tekanan tanah, dan beban yang dipengaruhi oleh lingkungan.

Tabel 2. Rekapitulasi Beban Kerja

No	Aksi / Beban	Arah	Vertikal	Horizontal		Momen	
		Kode	P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
Aksi Tetap							
1	Berat sendiri	MS	12157,19			-1981,3	
2	Beban mati tambahan	MA	1403,652			561,4609	
3	Tekanan tanah	TA		1840,083		5022,708	
Beban Lalu Lintas							
4	Beban hidup kereta	TL	1901,813			760,7253	
5	Beban kejut	TI	693,6025			277,441	
6	Beban sentrifugal	TC			0		0
7	Beban rem traksi	TB		475,4533		4925,697	
8	Beban panjang rel	LF		175		1512	
9	Beban pejalan kaki	SW	83,1687			33,2675	
10	Beban lateral	LR			380,3627		3370,013
Aksi Lingkungan							
11	Beban angin	EW	82,3170		169,575	32,9268	1463,432
12	Beban temperatur	ET		16,11		86,994	
13	Beban gempa	EQ		6206,13	3588,198	34475,59	19932,75
14	Tekanan tanah dinamis	EQ		313,0787		1600,876	
Aksi Lainnya							
15	Gesekan	FB		36,6691		198,0133	

Hasil rekapitulasi beban kerja kemudian dilakukan kombinasi berdasarkan RSNI T-02-2005, dengan kombinasi beban sebagai berikut:

Tabel 3. Rekapitulasi Kombinasi Beban Kerja

No	Kombinasi Beban	P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
1	Kombinasi – 1a	16239,42	1840,083	380,3627	4674,306	3370,013
	Kombinasi – 1b	16239,42	2490,537	380,3627	11112	3370,013
2	Kombinasi – 2a	16239,42	1892,862	380,3627	4959,314	3370,013
	Kombinasi – 2b	16239,42	2543,316	380,3627	11397,01	3370,013
3	Kombinasi – 3a	16239,42	1840,083	380,3627	4674,306	3370,013
	Kombinasi – 3b	16321,74	1840,083	169,575	4707,233	1463,432
	Kombinasi – 3c	16239,42	2490,537	380,3627	11112	3370,013
	Kombinasi – 3d	16321,74	2490,537	169,575	11144,93	1463,432
4	Kombinasi – 4a	16239,42	1892,862	380,3627	4959,314	3370,013
	Kombinasi – 4b	16321,74	1892,862	169,575	4992,241	1463,432
	Kombinasi – 4c	16239,42	2543,316	380,3627	11397,01	3370,013
	Kombinasi – 4d	16321,74	2543,316	169,575	11429,94	1463,432
5	Kombinasi – 5	13560,84	6519,209	3588,198	34656,63	19932,75

4.6. Kontrol Stabilitas Guling dan Geser

Kontrol stabilitas guling dan geser dilakukan dengan meninjau arah x dan arah y. Pondasi boredpile tidak diperhitungkan dalam analisis terhadap guling. Berdasarkan RSNI T-02-2005 digunakan angka aman terhadap guling 2,2 dan angka aman terhadap geser 1,1.

4.7. Perencanaan *Breast Wall*

4.7.1. Analisis Beban Kerja pada *Breast Wall*

Tabel 4. Rekapitulasi Kombinasi *Breast Wall*

No	Kombinasi Beban	Pu (kN)	Tux (kN)	Tuy (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
1	Kombinasi – 1a	13824,82	1245,581	392,268	5825,454	4118,814
	Kombinasi – 1b	13907,13	1245,581	169,575	5858,381	1209,07
	Kombinasi – 1c	13907,13	2388,987	561,843	15657,86	5327,884
	Kombinasi – 1d	13907,13	2388,987	169,575	15657,86	1209,07
2	Kombinasi – 2a	13991,15	1245,581	392,268	5891,989	4118,814
	Kombinasi – 2b	14073,47	2388,987	561,843	15724,4	5327,884
3	Kombinasi – 3a	13824,82	1229,471	392,268	5762,625	4118,814
	Kombinasi – 3b	13907,13	1192,801	169,575	5652,542	1209,07
	Kombinasi – 3c	13824,82	2336,208	392,268	15419,1	4118,814
	Kombinasi – 3d	13907,13	2388,987	169,575	15657,86	1209,07
4	Kombinasi – 4	12437,61	5586,656	4175,292	21200,2	15252,86

4.7.2. Perhitungan Tulangan *Breast Wall*

Berdasarkan perhitungan tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Tulangan lentur : D 25 – 25 mm
- Tulangan bagi : D 25 – 50 mm
- Tulangan geser arah memanjang : D 25 – 50 mm
- Tulangan geser arah melintang : D 25 – 50 mm

4.8. Perencanaan *Back Wall Atas*

4.8.1. Analisis Beban Kerja pada *Back Wall Atas*

Tabel 5. Beban Ultimit *Back Wall Atas*

No	Tekanan Tanah Dinamis	Faktor Beban	T (kN)	M (kNm)	Vu (kNm)	Mu (kNm)
1	Tekanan Tanah	1,25	44,8005	15,8827	56,0007	19,8534
2	Gempa Statik Ekuivalen	1	11,3910	4,6703	11,3910	4,6703
3	Tekanan Tanah Dinamis	1	107,8069	48,9701	107,8069	48,9701
Beban Ultimit pada Back Wall Atas					175,1987	73,4939

4.8.2. Perhitungan Tulangan *Back Wall Atas*

Berdasarkan perhitungan tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Tulangan lentur : D 25 – 400 mm
- Tulangan bagi : D 25 – 150 mm
- Tulangan geser : Tidak digunakan karena nilai $V_u < \Phi V_c$

4.9. Perencanaan Back Wall Bawah**4.9.1. Analisis Beban Kerja pada Back Wall Bawah**Tabel 6. Beban Ultimit *Back Wall Bawah*

No	Tekanan Tanah Dinamis	Faktor Beban	T (kN)	M (kNm)	Vu (kNm)	Mu (kNm)
1	Tekanan Tanah	1,25	213,0462	189,079	266,3078	236,3488
2	Gempa Statik Ekuivalen	1	51,6763	50,3941	51,6763	50,3941
3	Tekanan Tanah Dinamis	1	324,9115	469,9543	324,9115	469,9543
Beban Ultimit pada Back Wall Bawah					642,8957	756,6973

4.9.2. Perhitungan Tulangan Back Wall Bawah

Berdasarkan perhitungan tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Tulangan lentur : D 25 – 80 mm
- Tulangan bagi : D 25 – 150 mm
- Tulangan geser arah memanjang : D 13 – 300 mm
- Tulangan geser arah melintang : D 13 – 300 mm

4.10. Perencanaan Wing Wall**4.10.1. Analisis Beban Kerja pada Wing Wall**Tabel 7. Gaya Geser dan Momen Ultimit *Wing Wall*

No	Gaya Akibat Tekanan Tanah	Faktor Beban Ultimit (K)	Vu (kN)	Muy (kNm)	Mux (kNm)
1	Tekanan tanah	1,25	770,2024	3033,308	1155,304
2	Gempa statik ekuivalen	1	91,8327	141,652	68,8745
3	Tekanan tanah dinamis	1	741,1624	498,1708	1111,744
Total			1603,197	3673,131	2335,922

4.10.2. Perhitungan Tulangan Wing Wall

Berdasarkan perhitungan tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Tulangan lentur arah vertikal : D 25 – 100 mm
- Tulangan bagi arah vertikal : D 25 – 100 mm
- Tulangan geser arah vertikal : Tidak digunakan karena $V_u < \Phi V_c$
- Tulangan lentur arah horizontal : D 25 – 50 mm
- Tulangan bagi arah horizontal : D 25 – 50 mm
- Tulangan geser memanjang arah horizontal : D 10 – 400 mm

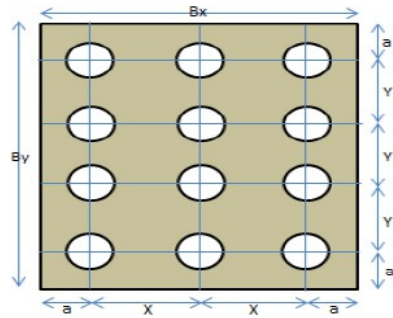
- Tulangan geser melintang arah horizontal : D 10 – 450 mm

4.11. Perencanaan Pondasi

Dalam perencanaan akan digunakan pondasi dalam bored pile dengan data sebagai berikut:

Tabel 8. Data Pondasi *Bored Pile*

Bahan / material pondasi			
Bentuk penampang pondasi		Bored pile	
Mutu beton bored pile	K -	350	
Kuat tekan beton	Fc'	29,05	MPa
Berat beton bertulang	Wc	25	kN/m ³
Modulus elastis beton	Ec	25332,08	MPa
Mutu baja tulangan	U	40	
Tegangan leleh baja	fy	400	MPa
Modulus elastisitas baja	Es	200000	MPa
Pondasi (<i>end bearing</i>)			
Berat volume tanah	Ws	14,1	kN/m ³
Sudut gesek dalam	Φ	31,6	°
Kohesi tanah	C	21,3785	kPa
Safety Factor	SF	3	
Dimensi Pile Cap			
Lebar arah x	Bx	8,8	m
Lebar arah y	By	12	m
Tebal	h = h5	1,5	m
Depan	L1 = b6	2,9	m
Belakang	L2 = b5	2,3	m
Dimensi Bored Pile			
Diameter bored pile	D	1	m
Panjang	L	6	m
Jarak pusat bored pile terluar terhadap sisi luar pile cap	a	1	m



Gambar 3. Susunan pondasi *bored pile*

4.11.1. Daya Dukung Aksial Pondasi

Tabel 9. Rekapitulasi Daya Dukung Aksial

No	Daya Dukung Aksial Tiang Bor	P (kN)
1	Berdasarkan kekuatan bahan	6723,525
2	Pengujian SPT (Meyerhof)	4140,613
3	Pengujian CPT (Bagement)	6232,447
	Daya dukung aksial terkecil	4140,613

4.11.2. Daya Dukung Lateral Pondasi

Berdasarkan perhitungan didapatkan tahanan ultimit beban lateral, $H_u = 865,8293$ kN

4.11.3. Perhitungan Momen dengan Rumus Empiris

Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai momen maksimum, $M_{\max} = 2373,108$ kNm

4.11.4. Kontrol Daya Dukung Izin Aksial dan Lateral

Perhitungan kontrol daya dukung izin aksial dan lateral pondasi pada arah x dan y berdasarkan nilai kombinasi beban yang diterima oleh pondasi. Dengan syarat sebagai berikut:

- Daya dukung aksial izin, $P_{\text{izin}} = 3072,403$ kN
- Daya dukung lateral izin, $H_{\text{izin}} = 865,8293$ kN

4.11.5. Perhitungan Tulangan Pondasi

Berdasarkan perhitungan tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Tulangan lentur : 40 D 25
- Tulangan geser : D 16 – 450 mm

4.12. Perencanaan *Pile Cap*

4.12.1. Analisis Beban Kerja pada *Pile Cap*

Tabel 10. Rekapitulasi Kombinasi Beban Ultimit *Pile Cap*

No	Kombinasi Beban	Pu (kN)	Tux (kN)	Tuy (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
1	Kombinasi – 1a	23802,48	2352,883	380,3627	7186,962	3370,013
	Kombinasi – 1b	23884,8	2352,883	169,575	7219,888	1463,432
2	Kombinasi – 2a	23884,8	3496,29	549,9377	18734,48	4833,445
	Kombinasi – 2b	23968,82	3496,29	380,3627	18768,09	3370,013
3	Kombinasi – 3a	23802,48	2336,773	380,3627	7099,968	3370,013
	Kombinasi – 3b	23884,8	2300,104	169,575	6934,881	1463,432
	Kombinasi – 3c	23802,48	3443,511	380,3627	18416,55	3370,013
	Kombinasi – 3d	23884,8	3480,18	169,575	18647,49	1463,432
4	Kombinasi – 4	22415,27	8819,313	3588,198	42423,53	1463,432

4.12.2. Perhitungan Gaya Aksial *Pile Cap*

Perhitungan gaya aksial ditinjau terhadap arah x dan y berdasarkan nilai kombinasi beban pada *pile cap*. Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai $P_u \max = 2907,732$ kN.

4.12.3. Momen dan Gaya Geser *Pile Cap*

Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai momen dan geser sebagai berikut:

- Momen ultimit rencana per meter, $M_u = 1007,58$ kNm
- Gaya geser rencana per meter, $V_u = 424,125$ kN

4.12.4. Perhitungan Tulangan *Pile Cap*

Berdasarkan perhitungan tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Tulangan lentur bagian bawah : D 25 – 200 mm
- Tulangan lentur bagian atas : D 25 – 200 mm
- Tulangan susut bagian bawah : D 22 – 300 mm
- Tulangan susut bagian atas : D 22 – 300 mm
- Tulangan geser : D 13 – 300 mm

4.13. Kontrol Terhadap Geser Pons

Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai $P_u \max < \Phi P_n$ yang berarti memenuhi syarat kontrol terhadap geser pons dan tidak diperlukan tulangan geser pons.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis struktur bangunan bawah jembatan kereta api Way Pengubuan diperoleh kesimpulan:

1. Dimensi yang digunakan untuk *abutment* adalah tinggi 7,67 m dan panjang 6 m. Dimensi *pile cap* yang digunakan adalah tebal 1,5 m, lebar 8,8 m, dan panjang 12 m. Dengan pondasi tipe *bored pile* berdiameter 1 m dan panjang 6 m.
2. Jumlah pondasi yang dipasang sebanyak 12 buah, dengan susunan 3 x 4.
3. Hasil analisis didapatkan daya dukung aksial maksimal sebesar 1979,497 kN dengan daya dukung aksial izin 3072,403 kN, sehingga dinyatakan pondasi dapat menahan beban struktur di atasnya.
4. Dilakukan pemasangan tulangan lentur, geser, dan bagi pada setiap bagian abutment sesuai perhitungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api.
- Departemen Pekerjaan Umum Dirjen Bina Marga. 1992. *Bridge Design Manual Bridge Management System Volume I*, Jakarta.
- Pd T-04-2004-B, 2004, *Perencanaan Beban Gempa untuk Jembatan*, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Jakarta.
- RSNI T-02-2005, 2005, *Standar Pembebanan untuk Jembatan*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Supriyadi, Bambang dan Agus Setyo, 2007, *Jembatan*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2006, *Teknik Fondasi 2*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2002, *Teknik Fondasi I*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2015, *Analisis dan Perancangan Fondasi II*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Murthy, V.N.S., 2003, *Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil, Mechanics and Foundation Engineering*, Marcel Dekker, New York.