

Perencanaan Pondasi Jembatan Wai Hina Dengan Menggunakan Pondasi Bore Pile

Lilian Putri¹, Nikolas Paulus², N. M. Y. Lewaherilla³

¹Mahasiswa Universitas Kristen Indonesia Maluku, Jalan OT Pattimaipauw Talake – Ambon

Gmail : ianlilian27.pl@gmail.com

²Staf Pengajar Universitas Kristen Indonesia Maluku, Jalan OT Pattimaipauw Talake - Ambon

Gmail : npaulus@gmail.com , nusyewaherilla@gmail.com

Abstract

To connect the separate road due to the stretching river, a bridge was built as a link. An important part of the bridge is the foundation. Wai Hina Bridge is located between the village of Haya and the village of Tehoru, district of Tehoru - Section of Jalan Haya-Tehoru. In the study, the carrying capacity of the soil will be calculated and re-planning the foundation using a bore pile foundation and calculating the lateral load of the soil against the abutment and pile and comparing the use of the efficiency of the number of piles between the pile and the bore pile. Calculation of the carrying capacity of the land using the Terzaghi method. Calculation of pole end resistance using the O'neil and Reese methods. Calculation of mast efficiency using the Converse-Labarre method. Calculation of the decrease in single piles and pile groups using the Empirical Vesic method. To calculate the lateral bearing capacity of the pole using the Broms method. At Wai Hina Bridge the foundation used is the bore pile foundation with a length of 20 m. In the abutment, a diameter of 0,50 m is used, with 19 poles. The carrying capacity of the pile group (Q_g) is 46,044.59 kN and it is safe from the overloaded structure (P) of 15,500.61 kN. The horizontal force acting on the masthead (H_s) is 61,93 kN. The result of shear moment calculation is $8,30 > 1,5$ and bolster moment $10,17 > 1,5$. The pier diameter is used at the pier which is 0,70 m with 15 poles. The carrying capacity of the land (q_u) is 18,077 kN / m². The carrying capacity of the pile group (Q_g) is 55,953.19 kN and it is safe from the overloading structure (P) of 21,385.70 kN. The horizontal force acting on the masthead (H_s) is 100,62 kN. In terms of the amount of use of the bore, the pile is more efficient than the pile.

Keywords: Carrying capacity, Bore pile, Lateral load

1. PENDAHULUAN

Jembatan Wai Hina terletak di antara desa Haya dan desa Tehoru kecamatan Tehoru - Ruas Jalan Haya-Tehoru. Jembatan yang awalnya memiliki panjang 15 m, lebar 7 m dan dibangun pada tahun 2006 namun rusak pada tahun 2017 akibat banjir. Jembatan tersebut kemudian diganti pada tahun 2018 dengan memiliki bentangan panjang 62,40 m dan dibagi menjadi 2 bagian yang dipisahkan oleh 1 buah pier dengan masing-masing memiliki bentangan bersih yaitu 45,8 m dari Abutment arah Haya ke Pier dan 16,6 m dari Pier ke Abutment arah Tehoru. Bagian jembatan yang lebarnya 45,8 m merupakan bentangan bersih lebar sungai, sedangkan bagian jembatan yang lebarnya 16,6 m merupakan daerah limpasan air sungai jika hujan tiba. Jembatan yang dibangun ini memiliki lebar badan jalan 7 m dan lebar trotoar 2 x 1 m. Pondasi yang digunakan yaitu berupa pondasi tiang pancang. Tiang pancang yang digunakan dalam pekerjaan Jembatan Wai Hina yaitu memiliki panjang 22 m dengan diameter 50 cm.

Pabrik produksi tiang pancang belum tersedia di Ambon-Maluku, hal ini menyebabkan penyelesaian pekerjaan pondasi memerlukan waktu yang cukup lama dimulai dari proses pemesanan, proses pabrikasi

hingga proses mobilisasi ke lokasi proyek yang berada di pulau seram menjadikan penyelesaian pekerjaan pondasi tiang pancang lebih memakan waktu. Sehingga dalam penulisan ini penulis membahas mengenai perencanaan pondasi bore pile menggunakan data – data pendukung dalam pergantian jembatan Wai Hina seperti data tanah hasil SPT dan gambar rencana. Hingga berdasarkan hal itu penulis dapat menemukan dan dapat membandingkan efisiensi penggunaan jumlah tiang dalam 1 grup tiang antara pondasi tiang pancang dan pondasi bore pile.

Berdasarkan latar belakang diatas maka akan dilakukan analisa perencanaan pondasi bore pile pada jembatan Wai Hina. Menganalisis perhitungan beban lateral tanah pada abutment dan tiang. Serta Menganalisis perbandingan efisiensi penggunaan jumlah tiang pondasi dalam satu grup tiang antara tiang pancang dan bore pile. Dalam penelitian ini perbandingan jumlah tiang dalam satu grup tiang antara tiang pancang dan *bore pile*, dilakukan dengan menggunakan data jumlah tiang pancang yang telah diperoleh berupa data sekunder.

2. KAJIAN PUSTAKA

Jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah. Menurut *Bridge Management system* (BMS 1992) komponen jembatan terdiri dari struktur atas, struktur bawah, dan bangunan pelengkap. Dirjen Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum mengeluarkan RSNI T-02-2005 tentang Standar Pembebanan Untuk Jembatan. Dirjen Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum mengeluarkan RSNI T-02-2005 tentang Standar Pembebanan Untuk Jembatan yang menjelaskan tentang beban-beban yang berkerja pada jembatan. Beban yang berkerja pada jembatan merupakan kombinasi dari beberapa macam aksi rencana pembebanan. Aksi rencana pembebanan digolongkan kedalam aksi tetap dan transien. Aksi tetap adalah aksi yang berkerja sepanjang waktu dan merupakan beban yang secara tetap dipikul oleh jembatan. Aksi transien adalah aksi akibat pembebanan sementara dan bersifat berulang ulang seperti beban lalu lintas (beban lajur "D" atau beban "T").

2.1. Berat Jenis Tanah

Berat spesifik atau berat jenis tanah (G_s) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s), dengan berat volume air (γ_w). G_s tidak memiliki dimensi. Nilai-nilai berat jenis tanah diberikan dalam tabel ini:

Tabel 1. Berat Jenis Tanah, (Sumber : Buku Mektan II, Hardiyatmo Halaman 5 tabel 1.1)

Macam Tanah	Berat Jenis (G_s)
Kerikil	2.65-2.68
Pasir	2.65-2.68
Lanau Organik	2.65-2.68
Lempung Organik	2.58-2.65
Lempung Anorganik	2.68-2.75
Humus	1.37
Gambut	1.25-1.80

2.2. Kerapatan Relatif

Korelasi antara nilai SPT dengan kepadatan relatif dipernalkan oleh *Terzaghi* dan *Peck* (1948). Kemudian *Gibbs* dan *Holtz* (1957) menambahkan nilai D_r untuk definisi kepadatan yang dikemukakan oleh *Terzaghi* dan *Peck* tersebut. Bentuk akhir korelasi yang diberikan mereka adalah seperti yang disajikan pada tabel berikut :

Tabel 2. Kepadatan Relatif (D_r), (Sumber : Buku Mektan II, Hardiyatmo Halaman 6 tabel 1.2)

Kepadatan Relatif	D_r	N
Sangat Lepas	< 0.15	< 4
Lepas	0.15 – 0.35	4 -10
Sedang	0.35 – 0.65	10 -30
Padat	0.65 – 0.85	30 – 50
Sangat Padat	0.85 – 1.00	> 50

2.3. Nilai n , e , w , γ_d , γ_b

Nilai – nilai porositas, angka pori, berat air, dan berat volume pada keadaan asli dari berbagai jenis tanah didasarkan oleh *Terzaghi* (1947) ditujukan pada tabel: Tabel 3. Nilai n , e , w , γ_d , γ_b untuk tanah keadaan asli dilapangan, (Sumber : Buku Mektan II, Hardiyatmo Halaman 7 tabel 1.3)

Macam Tanah	n (%)	e	w (%)	γ_d (KN/m ³)	γ_b (KN/m ³)
Pasir seragam, tidak padat	46	0.85	32	14.3	18.9
Pasir seragam, padat	34	0.51	19	17.5	20.9
Pasir berbutir campuran, tidak padat	40	0.67	25	15.9	19.9
Pasir berbutir campuran, padat	30	0.43	16	18.6	21.6
Lempung lunak sedikit organik	66	1.90	70	-	15.8
Lempung lunak sangat organik	75	3.00	110	-	14.3

2.4. Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah yaitu apakah tanah yang bersangkutan cukup kuat untuk menahan beban pondasi tanpa terjadi keruntuhan akibat menggeser (*shear failure*). Tentu saja hal ini bergantung pada kekuatan geser tanah.

Untuk tanah tidak berkoheisi, (*Hardiyatmo.H.C, 2014*) persamaan umum kapasitas dukung ultimit *Terzaghi* akan menjadi sebagai berikut:

1) Pondasi berbentuk memanjang:

$$q_u = p_o \cdot N_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \dots \dots \dots (1)$$

2) Pondasi berbentuk bujur sangkar;

$$q_u = p_o \cdot N_q + 0.4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \dots \dots \dots (2)$$

3) Pondasi berbentuk lingkaran;

$$q_u = p_o \cdot N_q + 0.3 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \dots \dots \dots (3)$$

4) Pondasi berbentuk empat persegi panjang;

$$q_u = p_o \cdot N_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma (1 - 0.2 \cdot B/L) \dots \dots \dots (4)$$

Dengan:

B = lebar atau diameter pondasi

L = panjang pondasi

$p_o = D_f \cdot \gamma =$ tekanan *overburden* pada dasar pondasi

$D_f =$ Kedalaman pondasi

$\gamma =$ Berat volume tanah

$N_q, N_\gamma =$ faktor-faktor kapasitas dukung

Tanah granuler mempunyai permeabilitas yang besar, karena itu pada tiap-tiap tahap pembebanan, air selalu terdrainase dari rongga pori tanah, maka, hitungan kapasitas dukung pasir selalu didasarkan pada kondisi terdrainase (*drained*) dengan menggunakan parameter tegangan efektif ($\phi' > 0$ dan $c' = 0$). *Sudut gesek dalam* (ϕ') pasir sangat dipengaruhi oleh kerapatan relatif yang nilainya berkisar antara 28° sampai 45° (pada umumnya diambil sekitar 30° - 40°). *U.S. Engineer Corp* (1946) menyarankan $\phi' = 30^\circ$ pasir longgar atau tidak padat, dan $\phi' = 35^\circ$ untuk pasir padat. Nilai-nilai tersebut dipertimbangkan sebagai nilai yang aman. Faktor lain yang mempengaruhi *sudut gesek dalam* ϕ' adalah bentuk dan gradasi butiran, jika butiran bergerigi, bergradasi baik dan dalam kondisi padat., maka *sudut gesek dalam* pasir diperkirakan akan

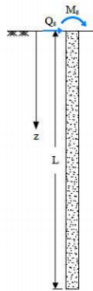
besar. Tanah granuler yang padat mempunyai kerapatan relatif (D_r), γ , dan ϕ' yang besar, sehingga kapasitas dukung besar dan penurunan kecil. Sebaliknya, jika pasir tidak padat, nilai γ , dan ϕ' kecil, sehingga kapasitas dukungnya rendah dan penurunan besar.

Tabel 4. Nilai-nilai Kapasitas Dukung Sumber: Terzaghi, 1943 (Sumber: Terzaghi, 1943)

ϕ	Keruntuhan Geser Umum			Keruntuhan Geser Lokal		
	N_c	N_q	N_{γ}	N_c'	N_q'	N_{γ}'
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,2	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

2.5. Kapasitas Dukung Tiang Bor

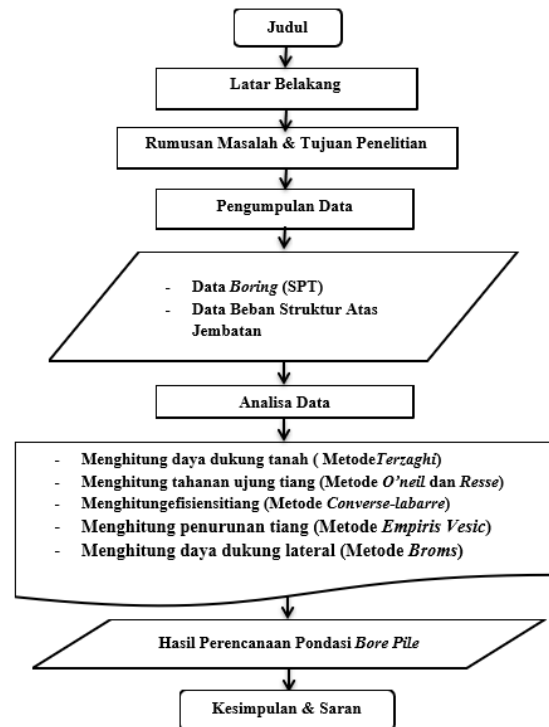
Momen dan perpindahan dari suatu pondasi tiang yang tertanam di tanah granular berdasarkan beban lateral dan momen yang terjadi di permukaan tanah ditentukan oleh metode umum oleh *Matlock* dan *Reese* (1960). Pada Gambar 2.3 dapat dilihat pondasi tiang dengan panjang L diberikan gaya lateral Q_g dan Momen M_g pada permukaan tanah ($z=0$)



Gambar 1. Beban Lateral dan Momen pada Pondasi Tiang

3. METODE PENELITIAN

3.1. Alir Penelitian



Gambar 2 Bagan Alir Penelitian

3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu yang diperlukan untuk penelitian ini adalah 5 Bulan, dengan Lokasi Penelitian bertempat di Jembatan Wai Hina Ruas Jalan Haya – Tehoru Pulau Seram Maluku.



Gambar 3. Lokasi Penelitian

3.3. Teknik Pengumpulan Data

Untuk meninjau kembali perencanaan pondasi *bore pile* jembatan WaiHina data yang dikumpulkan adalah Data sekunder yang di dapat dari instansi terkait yaitu, Data *Boring* dan Gambar Desain Jembatan Wai Hina. Dan juga diperoleh dari literature yang relevan dengan obyek penelitian berupa perencanaan pondasi *bore pile* jembatan Wai Hina, dalam menganalisa parameter tanah dengan mengumpulkan, mengidentifikasi, serta mengelola data tertulis yang dapat digunakan dalam proses perencanaan.

3.4. Teknik Analisa Data

Analisa data merupakan langkah yang sangat penting dalam suatu penelitian. Untuk merencanakan pondasi tiang bor (*bore pile*) dari data *boring* SPT. Teknik analisa yang digunakan untuk menghitung:

1. Daya dukung tanah adalah dengan Metode *Terzaghi*,

$$q_u = P_o \cdot N_q + 0.3 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

2. Tahanan ujung tiang menggunakan Metode *O'neil* dan *Resse*,

$$Q_b = A_b \cdot f_b$$

3. Efisiensi tiang menggunakan Metode *Converse-labarre*,

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

4. Penurunan tiang menggunakan Metode *Empiris Vesic*, Penurunan tiang tunggal

$$S = \frac{d}{100} + \frac{Q \cdot L}{A_p \cdot E_p}$$

$$\text{Penurunan tiang kelompok} \quad S_g = S \sqrt{\frac{B_g}{D_s}}$$

5. Daya dukung lateral menggunakan Metode *Broms*.

$$H_u = 2My / (e + (2f/3))$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Struktur Jembatan Haya 1

1. Jembatan *PCI Girder*

Panjang bentangan (L)	: 45,8 meter
Kelas Jembatan	: A
Lebar lalu lintas (b1)	: 7 meter
Lebar trotoar (b2)	: 1 meter
Lebar total (b3)	: 9 meter
Pembebanan	: 100%

2. Sandaran

Material	: Beton Bertulang
Tinggi sandaran (h1)	: 1 meter
Lebar sandaran (b1)	: 0,25 meter
Panjang (L)	: 45,8 meter
Jumlah (n1)	: 2 buah
Kuat tekan beton (fc')	: 20 Mpa
Berat jenis beton bertulang	: 24 KN/m ³

Lubang pada sandaran

Tebal (t2)	: 0,15 meter
Lebar (b2)	: 0,2 meter
Tinggi (h2)	: 0,6 meter
Jumlah (n2)	: 106 buah
Volume	: 1,91 m ³

3. Trotoar

Material	: Beton Bertulang
Tebal (h)	: 0,25 meter
Lebar (b)	: 0,5 meter
Panjang (L)	: 45,8 meter
Jumlah (n)	: 3 buah

Kuat tekan beton (fc')	: 30 Mpa
Berat jenis beton bertulang	: 24 KN/m ³

4. Lantai Jembatan

Material	: Beton Bertulang
Tebal (h)	: 0,2 meter
Lebar (b)	: 9 meter
Panjang (L)	: 45,8 meter
Kuat tekan beton (fc')	: 30 Mpa
Berat jenis beton bertulang	: 24 KN/m ³

5. Plat Deck

Material	: Beton Prategang
Tebal (h)	: 0,07 meter
Lebar (b)	: 1,2 meter
Panjang (L)	: 1 meter
Jumlah (n)	: 46 x 4 buah
Kuat tekan beton (fc')	: 30 Mpa
Berat jenis beton prategang	: 25 KN/m ³

6. Plat Injak

Material	: Beton Bertulang
Tebal (h)	: 0,35 meter
Lebar (b)	: 5 meter
Panjang (L)	: 9,5 meter
Jumlah (n)	: 1 buah
Kuat tekan beton (fc')	: 30 Mpa
Berat jenis beton bertulang	: 24 KN/m ³

7. Balok Gelagar (*PCI Girder*)

Material	: Beton Prategang
Lebar (b)	: 0,7 meter
Tinggi (t)	: 2,1 meter
Jumlah (n)	: 5 buah
Jarak antara gelagar (s)	: 1,85 meter
Luas penampang (Ap)	: 1,47 meter ²
Kuat tekan beton (fc')	: 30 Mpa
Berat jenis beton prategang	: 25 KN/m ³

8. Balok *Diafragma Middle*

Material	: Beton Prategang
Lebar (b)	: 1,59 meter
Tinggi (t)	: 1,65 meter
Tebal (h)	: 0,15 meter
Jumlah balok dalam (n):	20 buah
Kuat tekan beton (fc')	: 30 Mpa
Berat jenis beton prategang	: 25 KN/m ³

9. Balok *Diafragma Edge*

Material	: Beton Prategang
Lebar (b)	: 1,19 meter
Tinggi (t)	: 1,65 meter
Tebal (h)	: 0,2 meter
Jumlah balok dalam (n):	8 buah
Kuat tekan beton (fc')	: 30 Mpa
Berat jenis beton prategang	: 25 KN/m ³

10. Abutment Arah Haya

Kuat tekan beton (fc')	: 30 Mpa
Berat jenis beton bertulang	: 24 KN/m ³

11. Wing Wall

Kuat tekan beton (fc')	: 30 Mpa
Berat jenis beton bertulang	: 24 KN/m ³

12. Pier

Kuat tekan beton(f_c') : 30 Mpa
 Berat jenis beton bertulang : 24 KN/m³

13. Plat Lantai Kerja Abutment

Material : Beton Bertulang
 Lebar (b) : 5 meter
 Tebal (h) : 0,15 meter
 Panjang (L) : 45,8 meter
 Jumlah (n) : 1 buah
 Kuat tekan beton(f_c') : 30 Mpa
 Berat jenis beton bertulang: 24 KN/m³

14. Plat Injak

Material : Beton Bertulang
 Lebar (b) : 0,35meter
 Tebal (h) : 5 meter
 Panjang (L) : 9,5 meter
 Jumlah (n) : 1 buah
 Kuat tekan beton(f_c') : 30 Mpa
 Berat jenis beton bertulang: 24 KN/m³

15. Aspal

Material : Aspal
 Lebar (b) : 7 meter
 Tebal (h) : 0,05 meter
 Panjang (L) : 45,8 meter
 Berat jenis Aspal : 22 KN/m³

4.2. Data Struktur Jembatan Haya 2**1. Jembatan Voided Slab**

Panjang bentangan (L) : 16,6 meter
 Kelas Jembatan : A
 Lebar lalu lintas (b1) : 7 meter
 Lebar trotoar (b2) : 1 meter
 Lebar total (b3) : 9 meter
 Pembebanan : 100%

2. Sandaran

Material : Beton Bertulang
 Tinggi sandaran (h1) : 1 meter
 Lebar sandaran (b1) : 0,25 meter
 Panjang (L) : 16,6 meter
 Jumlah (n1) : 2 buah
 Kuat tekan beton(f_c') : 20 Mpa
 Berat jenis beton bertulang: 24 KN/m³
 Lubang pada sandaran
 Tebal (t2) : 0,15 meter
 Lebar (b2) : 0,2 meter
 Tinggi (h2) : 0,6 meter
 Jumlah (n2) : 38 buah
 Volume : 0,68 m³

3. Trotoar

Material : Beton Bertulang
 Tebal (h) : 0,25 meter
 Lebar (b) : 0,5 meter
 Panjang (L) : 16,6 meter
 Jumlah (n) : 2 buah
 Kuat tekan beton(f_c') : 20 Mpa
 Berat jenis beton bertulang: 24 KN/m³

4. Precast Voided Slab

Material : Beton Bertulang
 Lebar (b) : 0,94 meter
 Tebal (h): 0,74 meter
 Panjang (L1) : 5,6 meter
 Jumlah (n1) : 20 buah
 Panjang (L2) : 5,4 meter
 Jumlah (n2) : 10 buah
 Kuat tekan beton(f_c') : 30 Mpa
 Berat jenis beton prategang : 25 KN/m³

5. Plat Injak

Material : Beton Bertulang
 Lebar (b) : 0,35meter
 Tebal (h): 5 meter
 Panjang (L) : 9,5 meter
 Jumlah (n) : 1 buah
 Kuat tekan beton(f_c') : 30 Mpa
 Berat jenis beton bertulang: 24 KN/m³

6. Aspal

Material : Aspal
 Lebar (b) : 7 meter
 Tebal (h): 0,05 meter
 Panjang (L) : 16,6 meter
 Berat jenis Aspal : 22 KN/m³

4.3. Aksi Tetap

Tabel 5. Rekapitulasi Aksi Tetap pada Jembatan Haya 1 dan 2

Keterangan	Simbol	Haya 1	Haya 2
		(KN)	(KN)
Plat Lantai	Pd1	1978.56	
Plat Deck	Pd2	370.94	
Plat Injak	Pd3	399.00	
Gelagar	Pd4	8415.75	
Diafragma	Pd5	275.30	
Precast Voided Slab	Pd6		1869.77
Plat Injak	Pd7		639.10
Beban Mati Pms		11439.56	2508.87
Sandaran	Pd8 dan Pd11	458.02	166.37
Trotoar	Pd9 dan Pd12	274.80	99.60
Aspal	Pd10 dan Pd13	352.66	127.82
Beban Mati Tambahan Pma		1085.48	393.79
Total Aksi Tetap		12525.03	2902.66

4.4. Aksi Tersein

Tabel 6. Rekapitulasi Aksi Tersein pada Jembatan Haya 1 dan 2

Keterangan	Simbol	Haya 1	Haya 2
		(KN)	(KN)
Beban "D" (Beban Lalu Lintas)	Ptd	2530.20	1422.40
Beban Truk "T" (TT)	Ptt	140.00	140.00
Beban Akibat Rem Kendaraan	Ptb	50.00	8.33
Beban Hidup Pejalan Kaki	Ptp	458.00	83.00
Total Aksi Tersien		3178.20	1653.73

4.5. Aksi Lingkungan

Tabel 7. Rekapitulasi Aksi Lingkungan pada Jembatan Haya 1 dan 2

Keterangan	Simbol	Haya 1	Haya 2
		(KN)	(KN)
Beban Angin	Pew	12.20	4.42
Beban Gempa	Peq	1252.50	290.27
Beban Suhu	Pet	42.94	31.13
Beban Gesek Perletakan	Pfb	626.25	145.13
Total Aksi Lingkungan		1933.90	470.95

4.6. Kombinasi Beban

1. Abutmen

Aksi	Layan					Ultimit				
Simbol	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Pms	14871.42	14871.42	14871.42	14871.42	14871.42	14871.42	14871.42	14871.42	14871.42	14871.42
Pma	2170.95	2170.95	2170.95	2170.95	2170.95	2170.95	2170.95	2170.95	2170.95	2170.95
Ptd	5060.39	5060.39	5060.39	5060.39	5060.39	5060.39	5060.39	5060.39	5060.39	5060.39
Ptt	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00
Ptb	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
Ptp		916.00					916.00			
Pew			14.64	14.64	14.64	14.64		14.64	14.64	
Peq										1252.50
Pet	51.53	51.53	51.53	51.53	51.53	51.53	51.53	51.53	51.53	
Pfb	626.25	626.25	626.25	626.25	626.25	626.25	626.25	626.25	626.25	
Pta	190.82	190.82	190.82	190.82	190.82	190.82	190.82	190.82	190.82	190.82
TOTAL	23351.36	24267.36	23366.01	23366.01	23366.01	23366.01	24267.36	23366.01	23366.01	23826.09

Kondisi Konstruksi = 17.042,38 kN

Kondisi Layan = 24.267,36 kN

Kondisi Ultimit = 24.267,36 kN

2. Pier

Aksi	Layan					Ultimit				
Simbol	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Pms	3261.53	3261.53	3261.53	3261.53	3261.53	3261.53	3261.53	3261.53	3261.53	3261.53
Pma	787.58	787.58	787.58	787.58	787.58	787.58	787.58	787.58	787.58	787.58
Ptd	2844.80	2844.80	2844.80	2844.80	2844.80	2844.80	2844.80	2844.80	2844.80	2844.80
Ptt	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00
Ptb	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	
Ptp		166.00					166.00			
Pew			5.31	5.31	5.31	5.31		5.31	5.31	
Peq										290.27
Pet	37.35	37.35	37.35	37.35	37.35	37.35	37.35	37.35	37.35	
Pfb	145.13	145.13	145.13	145.13	145.13	145.13	145.13	145.13	145.13	
Pta	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	7373.06	7539.06	7378.37	7378.37	7378.37	7378.37	7539.06	7378.37	7378.37	7464.18

Kondisi Konstruksi = 4.049,11 kN

Kondisi Layan = 7.539,06 kN

Kondisi Ultimit = 7.539,06 kN

4.7. Perhitungan Abutmen dan Pier

1. Abutment

Berat total struktur *abutment* jembatan arah hana akibat berat sendiri adalah :

$$\begin{aligned} & \text{Berat Abutment} + \text{Berat Wing Wall} + \text{Berat Lantai Kerja} \\ & = 2.973,30 + 195,63 + 198 = \mathbf{3.366,93 \text{ kN}} \end{aligned}$$

Berat Total Beban (P) Yang Bekerja Pada *Abutment* Arah Hana

$$\begin{aligned} \mathbf{P} &= \text{Struktur Atas} + \text{Struktur Bawah} \\ &= 12.133,68 + 3.366,93 \\ &= \mathbf{15.500,61 \text{ kN}} \end{aligned}$$

2. Pier

Berat total struktur *abutment* jembatan arah hana akibat berat sendiri adalah :

$$\begin{aligned} & \text{Berat Pier} + \text{Berat Lantai Kerja} \\ & = 5.229,05 + 253,44 = \mathbf{5.482,49 \text{ kN}} \end{aligned}$$

Berat Total Beban (P) Yang Bekerja Pada *Pier*

$$\begin{aligned} \mathbf{P} &= \text{Struktur Atas} + \text{Struktur Bawah} \\ &= 15.903,21 + 5.482,49 \\ &= \mathbf{21.385,70 \text{ kN}} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Kapasitas Dukung Tanah (Metode Terzaghi)

a. Abutment

$$q_u = P_o \cdot N_q + 0,3 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

Dengan nilai sudut geser dalam ϕ HB-03 adalah 35° . Maka :

ϕ	N_q	N_c	N_γ
35°	41.4	57.8	42.4

$$P_o = D_f \cdot \gamma_b$$

$$P_o = 20 \times 20,90 = 418 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} q_u &= P_o \cdot N_q + 0,3 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \\ &= \mathbf{17,438 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

b. Pier

$$q_u = P_o \cdot N_q + 0,3 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

Dengan nilai sudut geser dalam ϕ HB-04 adalah 35° . Maka :

ϕ	N_q	N_c	N_γ
35°	41.4	57.8	42.4

$$P_o = D_f \cdot \gamma_b$$

$$P_o = 20 \times 21,60 = 432 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} q_u &= P_o \cdot N_q + 0,3 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \\ &= \mathbf{18,077 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

4.8. Perencanaan Pondasi Tiang Bor

Tabel 10. Data Perhitungan Daya Dukung Tanah

Keterangan	Lubang Bor (HB-3)		Lubang Bor (HB-4)	
Sudut gesek dalam (ϕ) untuk tanah pasir	35.00	°	35.00	°
Kedalam Pondasi (Df)	20	m	20	m
Diameter (B)	0.5	m	0.7	m
Berat Volume Tanah (γ)	20.90	KN/m ³	21.60	KN/m ³
Porositas (n)	34.00	%	30.00	%
Angka pori e	0.51		0.43	
Kadar air (w)	19.00	%	16.00	%
Berat kering (γ_d)	17.50	KN/m ³	18.60	KN/m ³
koheksi (c)	1.8		1.8	
Nilai N-SPT	60		49	
Berat Jenis Beton	24	KN/m ³	24	KN/m ³
Rencana (γ_{beton})				

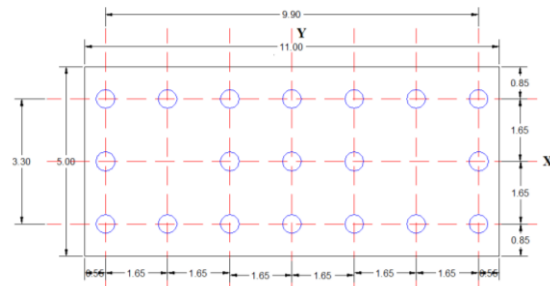
3. Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

a. Penentuan Tiang dan Jarak Tiang

$$n = \frac{P}{Q_a} = \frac{15.500,61}{920,53} = 16,8 = \mathbf{19 \text{ buah}}$$

Dengan jarak antar sumbu tiang (s):

$$s = 2,5 \times d + 0,02 \times L = \mathbf{1,65 \text{ m}}$$



Gambar 4. Hasil desain kelompok tiang pada HB-3

1. Perhitungan Daya Dukung Tanah

Tabel 11. Rekapitulasi perhitungan kapasitas dukung pondasi tiang Bor.

Kapasitas Dukung	Pondasi HB-03	Pondasi HB-04
Tahanan Ujung Tiang (Q_b)	441.56	738.53
Tahanan Gesek Ultimit (Q_s)	2874.49	4728.88
Kapasitas Dukung Ultimit Netto (Q_u)	3221.85	5282.78
Kapasitas Dukung Ijin (Q_a)	1288.74	2113.11

b. Efisiensi Kelompok Tiang (Metode *Converse-Labarre*)

Untuk menghitung efisiensi tiang:

$$E_g = 1 - \Theta \frac{(n' - 1)m + (m - 1)n'}{90 \cdot m \cdot n'}$$

$$E_g = 1 - 16,86 \frac{(3 - 1)7 + (7 - 1)3}{90 \times 7 \times 3}$$

$$E_g = 1 - 16,86 \frac{32}{1890}$$

$$\mathbf{E_g = 0,71}$$

c. Penurunan Pondasi Tiang Tunggal (Metode Empiris Vesic)

$$S = \frac{d}{100} + \frac{Q \cdot L}{A_p \cdot E_p} = \frac{0,5}{100} + \frac{775 \times 20}{1,57 \times 230.252} = 0,048 \text{ m} = \mathbf{0,48 \text{ cm}}$$

d. Penurunan Pondasi Tiang Kelompok (Metode Empiris Vesic)

$$S_g = S \times \sqrt{\frac{B_g}{d}} = 0,48 \times \sqrt{\frac{330}{0,5}} = \mathbf{12,33 \text{ cm}}$$

e. Kapasitas Dukung Ijin Kelompok

$$Q_g = E_g \times n \times Q_u$$

$$Q_g = \mathbf{46.044,59 \text{ kN}} > \text{Dari Beban (P) = 15.500,61 kN} \quad \mathbf{Ok}$$

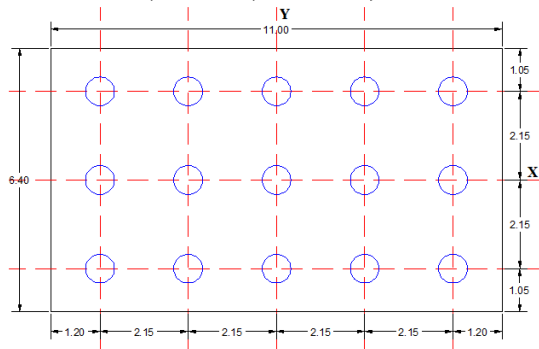
4. Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

a. Penentuan Tiang dan Jarak Tiang

$$n = \frac{P}{Q_a} = \frac{21.385,70}{1.509,37} = 14,2 = \mathbf{15 \text{ buah}}$$
 Dengan

jarak antar sumbu tiang (s):

$$s = 2,5 \times d + 0,02 \times L = \mathbf{2,15 \text{ m}}$$



Gambar 5. Hasil desain kelompok tiang pada HB-4

b. Efisiensi Kelompok Tiang (Metode Converse-Labarre)

Untuk menghitung efisiensi tiang:

$$E_g = 1 - 18,03 \frac{(3-1)5 + (5-1)3}{90 \times 5 \times 3}$$

$$E_g = 1 - 18,03 \frac{22}{1.350}$$

$$E_g = \mathbf{0,71}$$

c. Penurunan Pondasi Tiang Tunggal (Metode Empiris Vesic)

$$S = \frac{d}{100} + \frac{Q \cdot L}{A_p \cdot E_p} = \frac{0,7}{100} + \frac{1.426 \times 20}{2,2 \times 230.252} = 0,063$$

$$m = \mathbf{0,63 \text{ cm}}$$

d. Penurunan Pondasi Tiang Kelompok (Metode Empiris Vesic)

$$S_g = S \times \sqrt{\frac{B_g}{d}} = 0,63 \times \sqrt{\frac{430}{0,7}} = \mathbf{15,61 \text{ cm}}$$

e. Kapasitas Dukung Ijin Kelompok

$$Q_g = E_g \times n \times Q_u$$

$$Q_g = \mathbf{55.953,19 \text{ kN}} > \text{Dari Beban (P) = 21.385,70 kN} \quad \mathbf{Ok}$$

4.9. Perencanaan Pondasi Tiang Bor

1. Abutment

a. Menentukan Kriteria Tiang Panjang Atau Pendek

Tiang Pendek adalah jika $L/d < 12 \text{ m}$, dan Tiang panjang adalah $L/d > 12 \text{ m}$.

$$L/d = 20/0,50 = 40 \text{ m}$$

Maka untuk *abutment* termasuk Jenis Tiang Panjang = 40 m > 12 m

b. Menentukan Daya Dukung Tiang Terhadap Beban Lateral

$$M_{maks} = \gamma \cdot d \cdot L^3 \cdot K_p$$

$$M_{maks} = 20,90 \times 0,5 \times 20^3 \times 7,40$$

$$= 618.640 \text{ kN.m} > M_y = 235,50 \text{ kN.m}$$

Karena momen yang bekerja pada tiang $M_{maks} > M_y$, maka saat gaya horizontal belum mencapai H_u tiangnya sudah patah. Karena itu, gaya horizontal *ultimit* dihitung oleh kekuatan bahan tiang (M_y) atau hitungan didasarkan pada persamaan tiang panjang, Digunakan:

$$H_u = \frac{2 \cdot M_y}{e + 2f/3} = \mathbf{185,78 \text{ kN}}$$

Maka gaya horizontal yang aman terhadap keruntuhan tiang : $H_s = H_u/F = \frac{185,78}{3} = \mathbf{61,93 \text{ kN}}$

2. Pier

a. Menentukan Kriteria Tiang Panjang Atau Pendek

Tiang Pendek adalah jika $L/d < 12 \text{ m}$, dan Tiang panjang adalah $L/d > 12 \text{ m}$.

$$L/d = 20/0,50 = 40 \text{ m}$$

Maka untuk *pier* termasuk Jenis Tiang Panjang = 40 m > 12 m

b. Menentukan Daya Dukung Tiang Terhadap Beban Lateral

$$M_{maks} = \gamma \cdot d \cdot L^3 \cdot K_p$$

$$M_{maks} = 21,60 \times 0,7 \times 20^3 \times 5,73$$

$$= 693.100,80 \text{ kN.m} > M_y = 461,50 \text{ kN.m}$$

Karena momen yang bekerja pada tiang $M_{maks} > M_y$, maka saat gaya horizontal belum mencapai H_u tiangnya sudah patah. Karena itu, gaya horizontal *ultimit* dihitung oleh kekuatan bahan tiang (M_y) atau hitungan didasarkan pada persamaan tiang panjang, Digunakan:

$$H_u = \frac{2 \cdot M_y}{e + 2f/3} = \mathbf{301,85 \text{ kN}}$$

Maka gaya horisontal yang aman terhadap keruntuhan tiang : $H_s = H_u/F = \frac{301,85}{3} = 100,62 \text{ kN}$

4.10. Beban Lateral Pada Tanah Belakang Abutmen

Tabel 12. Data Tanah Pada Samping Abutment.

Parameter Data Tanah		
Keterangan	Nilai	Sumber
Berat Volume Tanah Basah atau Lembab (γ_b)	20,90 KN/m^3	<i>Terzaghi, 1943</i> , Dalam <i>Mekanika Tanah I, Hardiyatmo H.C. (2010)</i>
Kohesi Tanah (Cu)	1,8	<i>Dan Ft. Peck</i> , Dalam <i>Mekanika Tanah I, Hardiyatmo H.C. (2010)</i>
Sudut Geser Dalam (ϕ)	35,00 °	<i>Terzaghi, 1943</i> , Dalam <i>Mekanika Tanah I, Hardiyatmo H.C. (2010)</i>

1. Koefisien Tekanan Tanah

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2)$$

$$= \tan^2(45^\circ - 35^\circ/2)$$

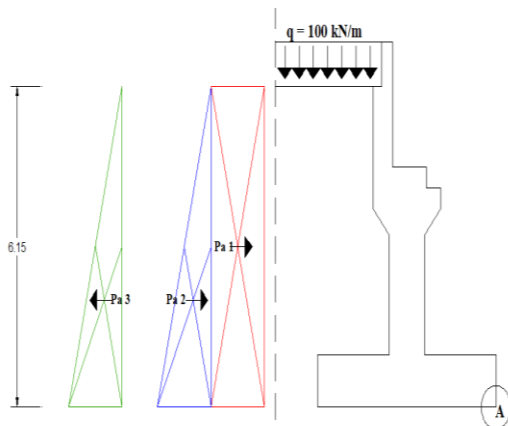
$$K_a = 0,27$$

2. Tekanan Tanah Aktif

Tabel 13. Data Tanah Pada Samping Abutment.

No	Gaya (KN)	Jarak Lengan Terhadap Titik A	Momen (KNm)
1	$\left(\frac{q}{100} \times K_a \times h \right)$ $\left(\frac{100}{0,27} \times 6,15 \right)$	166,66	3,08
2	$\frac{1}{2} \times \frac{2}{6,15} \times \frac{\gamma}{20,9} \times K_a \times h$ $\frac{1}{2} \times \frac{2}{6,15} \times \frac{20,9}{0,27} \times 6,15$	107,11	3,08
3	$\frac{2}{2} \times \frac{c}{1,8} \times \frac{1}{0,521} \times \frac{1}{2} \times h$ $\frac{2}{2} \times \frac{1,8}{0,521} \times \frac{1}{2} \times 6,15$	-5,76	3,08
ΣP_a		268,00	824,11

Karena tanah tidak berada dimuka *abutment* maka Tekanan tanah pasif diabaikan.

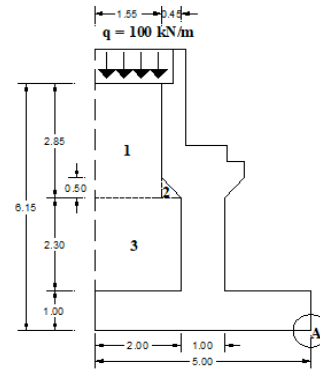


Gamabar 6. Tekanan Tanah Aktif pada Abutment

3. Gaya Vertikal Dan Momen Terhadap Kaki Depan Titik A

Tabel 13. Gaya Pertikal Momon

No	Berat W (KN)	Jarak Terhadap Titik A	Momen (KNm)
1	$\left(\frac{\text{Luas}}{2,85 \times 1,6} \right) \times \left(\frac{\gamma}{20,90} \right)$	92,33	4,23
2	$\left(\frac{\text{Luas}}{0,25 \times 0,5} \right) \times \left(\frac{\gamma}{20,90} \right)$	2,35	3,23
3	$\left(\frac{\text{Luas}}{2,3 \times 2} \right) \times \left(\frac{\gamma}{20,90} \right)$	96,14	4,00
Σ		190,82	782,22



Gamabar 7. Gaya Vertikal Momen Tethadap Titikm A.

4. Eksentrisitas Akibat Berat Tanah

$$e = \frac{\Sigma \text{Momen terhadap titik A}}{\Sigma \text{Berat}}$$

$$e = \frac{782,22}{190,82}$$

$$e = 4,10 \text{ m}$$

5. Eksentrisitas Akibat Berat Abutment

Segmen	Berat W (KN)	Jarak ke A (m)	Momen (KNm)
I	67,32	3,05	205,33
II	210,54	3,18	669,52
III	158,40	2,43	384,91
IV	200,64	2,5	501,60
V	382,80	2,5	957,00
VI	633,60	2,5	1584,00
VII	1320,00	2,5	3300,00
Σ	2973,30		7602,36

$$e = \frac{\Sigma \text{Momen terhadap titik A}}{\Sigma \text{Berat}}$$

$$e = \frac{7.602,36}{2.973,30}$$

$$e = 2,56 \text{ m}$$

Maka :

$$\Sigma W = W_{\text{Tanah}} + W_{\text{Abutment}}$$

$$= 190,82 + 2.973,30$$

$$= 3.164,12 \text{ kN}$$

$$\Sigma M = \text{Momen}_{\text{Tanah}} + \text{Momen}_{\text{Abutment}}$$

$$= 782,22 + 7.602,36$$

$$= 8.384,57 \text{ kNm}$$

6. Stabilitas Terhadap Geser

$$\begin{aligned} R_h &= C_u \cdot B + \sum W \cdot T_g \phi \\ &= 1,8 \times 5 + 3.164,12 \times \tan 35^\circ \\ &= 2.224,54 \\ F_{gs} &= \frac{\sum R_h}{\sum P_h} = \frac{2.224,54}{268,00} = 8,30 > SF = 1,5 \quad \text{Ok} \end{aligned}$$

7. Stabilitas Terhadap Guling

$$F_{gl} = \frac{\sum Mw}{\sum gl} = \frac{8.384,57}{824,11} = 10,17 > SF = 1,5 \quad \text{Ok}$$

4.11. Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis perencanaan pondasi *bore pile* perbandingan efisiensi penggunaan jumlah tiang pondasi dalam satu grup tiang antara tiang pancang dan *bore pile* yaitu ; Pada *Abutment* jumlah tiang pancang yang digunakan dalam satu grup tiang yaitu sebesar 21 buah dengan jarak tiang yaitu 1.7 meter. Pada *Pier* jumlah tiang pancang yang digunakan dalam satu grup tiang yaitu sebesar 24 buah dengan jarak tiang yaitu 1.7 meter. Diameter tiang yaitu 0.5 meter dengan jarak tiang yaitu 1.7 meter.

Dalam perencanaan pondasi *bore pile* ini dirancang pada *abutment* jumlah *bore pile* yang digunakan yaitu 19 buah dalam 1 grup tiang dengan jarak antara tiang yaitu 1.65 meter. Pondasi *bore pile* yang di rancang memiliki diameter 0.5 meter dengan panjang tiang yaitu 20 meter. Sedangkan untuk *Pier* jumlah *bore pile* yang digunakan dalam 1 grup tiang yaitu 15 buah dengan jarak antar tiang yaitu 2.15 meter. Pondasi yang di rancang memiliki diameter 0.7 meter dengan panjang tiang 20 meter.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan pondasi jembatan Wai Hina dengan menggunakan pondasi tiang bor (*bore pile*), maka diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis perhitungan daya dukung tanah (q_u) untuk *abutment* = sebesar 17.438 kN/m² dan daya dukung tanah (q_u) untuk *pier* = 18.077 kN/m².
2. Berdasarkan hasil analisis perencanaan pondasi *bore pile* pada jembatan Wai Hina dengan panjang (L) pondasi yaitu 20 m. Dimana *abutment* menggunakan diameter 0,50 m dan *pier* menggunakan diameter 0,70 m . Jumlah tiang (n) untuk *abutment* = 19 buah dan untuk *pier* = 15 buah. Sedangkan kapasitas dukung ijin kelompok tiang (Q_g) untuk *abutment* = 46.044,59 kN > P = 15.500,61 kN dan untuk *pier* = 55.953,19 kN > P = 21.385,70 kN. Serta gaya horisontal yang aman terhadap kepala tiang (Hs) untuk *abutment* = 61,93 kN dan untuk *pier* = 100,62 kN.
3. Berdasarkan hasil analisis perhitungan beban lateral terhadap guling dan geser pada *abutment*, maka didapat stabilitas terhadap geser sebesar 8,30

dan guling sebesar 10,17 dengan faktor aman yang digunakan 1,5 terhadap guling dan geser. Maka momen geser = 8,30 > 1,5 dan Guling = 10,17 > 1,5. Momen guling dan geser terhadap *abutment* aman.

4. Berdasarkan hasil analisis perbandingan efisiensi penggunaan jumlah tiang pondasi dalam satu grup tiang antara tiang pancang dan tiang bor maka diperoleh bahwa dari segi jumlah kebutuhan, tiang bor pada *Abutment* lebih efisien dengan diameter pondasi yang sama yaitu 0.5 meter namun penggunaan pondasi tiang bor hanya menggunakan 19 buah tiang dibandingkan pondasi tiang pancang yang menggunakan 21 buah tiang. Demikian dengan *Pier* yang sebelumnya diameter tiang pancang yang digunakan yaitu 0.5 meter dengan jumlah tiang pancang 28 buah. Dalam perencanaan diameter tiang bor dapat diperbesar menjadi 0.7 meter dan penggunaan tiang dalam satu grup tiang hanya memerlukan 15 buah tiang bor saja .

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan berdasarkan penelitian ini adalah, Dalam perencanaan pondasi tiang bor agar sebaiknya data tanah selain diperoleh dari hasil studi literatur berdasarkan hasil *boring* lapangan, juga sebaiknya diperoleh dari hasil pengujian *laboratorium* setiap lapisan tanah sehingga data yang diperoleh lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim . 1992. Bridge Management System (BMS). Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan. Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Bina Marga, Direktorat Bina Program Jalan
- Aspal, P., & Beton, P. (n.d.). *Perhitungan perencanaan pembebanan jembatan* .
- Aspal, P., Beton, P., Priadi, E., Sc, M., Prayogo, K., Saptowati, H., ... Setiyarto, Y. D. (2013). Analisis Beban Jembatan Data Jembatan. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Departemen pekerjaan umum. (2007). *Ahli Perencanaan Teknis Jembatan (Bridge Design Engineer)*.
- Faizal, Zulkifli. 2014. Analisis Struktur Pondasi Dan Abutment Jembatan Pada Proyek Jalan Tol Cimanggis-Cibitung. Skripsi. Bogor
- Fallis, A. . (2013). *Journal. Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Fitri, Amanda Aisya.2017. Perencanaan Ulang Struktur Bawah *Abutment* Dengan Pondasi *Bored Pile*. Tugas Akhir. Jawa Tengah
- Jasso,Zonello. 2017. Tinjauan Perencanaan Pondasi Jembatan Wai Aleo II Dengan Menggunakan Bore Piel. Skripsi. Ambon
- Hardiyatmo H.C,2010. Mekanika Tanah I (Edisi Ke 5). Yogyakarta: Gajah MadaUniversity Press
- Hardiyatmo H.C,2014. Analisa Dan Perencanaan Fondasi I (Edisi Ke 3). Yokyakarta: Gajah Mada University Press
- Hardiyatmo H.C,2015. Analisa Dan Perencanaan Fondasi II (Edisi Ke 3). Yokyakarta: Gajah Mada University Press
- Maudin,Alpin.2017. Analisa Stabilitas Pondasi *Bored Pile* Pada *Fly Over* Simpang Surabaya Banda Aceh. Proposal Tugas Akhir. Banda AcehNasional, S. (2005). *Standar pembebanan untuk jembatan*.
- Off, M., Sea, P., & Province, K. R. (2015). *Karakteristik fisik dan mekanik tanah mengandung mineral timah di daerah laut payakundur, provinsi kepulauan riau*. 45–53.
- Prayogo, K., & Saptowati, H. (2016). Penyelidikan struktuur dan karakteriistik tanah untuk desain Pondasi Iridiatir Gamma kapasitas 2 MCi. *Jurnal Perangkat Nuklir*, 10(1978).
- Riset, K., Pendidikan, T. D. A. N., Politeknik, T., Manado, N., & Teknik, J. (2016). *PONDASI BORE PILE PROYEK PEMBANGUNAN*.
- Saputro, D. D. (2001). *Studi pengaruh jarak tiang pancang pada kelompok tiang terhadap perubahan dimensi pile cap*. 571, 85–93.
- Standar Pembebanan Jembatan, Rsn T-02-2005 Struyk, H. J., dan Veen, K.H.C.W., 1984, *Jembatan*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta