

STABILITAS DAYA DUKUNG LATERAL STRUKTUR KEPALA JEMBATAN DI TANAH LUNAK

Dhiya Safira¹, Putera Agung Maha Agung²

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta

Email: dhiyasfr@gmail.com¹, putera.agungmagung@sipil.pnj.ac.id²

ABSTRACT

Pile is a deep foundation types of system always used to support a bridge abutment in a highway line. Pile foundation as one part of the sub-structure system can retain and transfer all loads from the upper structure. According to government standard regulation, a configuration of pile foundation must be selected and serve all external lateral loads in safety limits according to government standard regulation, including static and dynamic loads. This study evaluates the lateral stability of bridge abutment at the Indrapura Kisaran Toll Road section 2 at STA. 153 + 509, which designed using prestressed round pile foundations. Broms solution is a selected method to evaluate the lateral stability of a single and or group of pile foundations embedded in sand or sandy layers. From some design calculations, a configuration of 40 piles with a diameter of 50 cm shows adequately strong to resist all the lateral forces at the field.

Keywords: foundation, piles, sand.

ABSTRAK

Pondasi tiang adalah salah satu tipe pondasi dalam yang selalu digunakan untuk mendukung suatu kepala jembatan pada suatu jalur jalan tol. Tiang pancang sebagai bagian sistem struktur bawah memiliki fungsi untuk menahan dan menyalurkan seluruh beban dari struktur atas. Suatu konfigurasi pondasi tiang dalam grup harus dipilih dan mampu melayani seluruh beban lateral dari luar dalam batas-batas keamanan sesuai dengan peraturan standar pemerintah, baik beban statis maupun beban dinamis. Studi ini adalah untuk mengevaluasi stabilitas lateral dari kepala jembatan pada Jalan Tol Indrapura Kisaran seksi 2 di STA. 153+509 yang direncanakan menggunakan pondasi tiang pancang bulat prategang. Solusi Broms adalah metode yang dipilih untuk mengevaluasi stabilitas lateral pondasi tiang pancang tunggal dan atau grup yang diletakkan pada lapisan tanah pasir atau pasiran. Dari beberapa perhitungan perencanaan, suatu konfigurasi pondasi dengan jumlah 40 tiang pancang dengan diameter 50 cm menunjukkan kekuatan yang cukup untuk menahan seluruh beban lateral di lapangan.

Kata kunci: pondasi, tanah pasir, tiang pancang..

PENDAHULUAN

Ruas Jalan Tol Kisaran Tebing-Tinggi (Indrapura-Kisaran) merupakan bagian dari Jalan Tol Trans Sumatera (JTTS) yang direncanakan akan membentang dari utara Pulau Sumatera sampai selatan menyambungkan Provinsi Nangroe Aceh Darussalam sampai provinsi Lampung. Pada konstruksi Jembatan pada Jalan tol Indrapura - Kisaran ini terdapat dua bagian utama, yaitu struktur

atas dan struktur bawah. Struktur bagian bawah adalah pondasi yang berperan untuk mendukung struktur bagian atas. Untuk jembatan yang menanggung beban besar, maka diperlukan pondasi yang kuat dan kokoh.

Pondasi adalah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada dan ke dalam tanah dan batuan yang terletak dibawahnya [1]. Untuk tujuan itu pondasi bangunan harus diperhitungkan dan menjamin kestabilan

bangunan terhadap berat sendiri, beban dari gaya- gaya luar seperti beban gempa dan beban lateral yang terjadi pada kepala jembatan.

Pondasi bangunan biasa dibedakan sebagai pondasi dangkal (*shallow foudations*) dan pondasi dalam (*deep foundations*), tergantung dari perbandingan kedalaman pondasi dan lebar pondasi [2].

Pondasi dalam merupakan solusi terbaik yang digunakan, karena pondasi dalam memiliki daya dukung relatif lebih besar jika dibandingkan dengan pondasi dangkal. Pondasi tiang pancang sudah digunakan sebagai penerima beban dan sistem transfer beban selama bertahun-tahun. Pada umumnya, pondasi tiang pancang digunakan apabila tanah dasar tidak mempunyai kapasitas daya pikul yang memadai.

Pada penelitian ini, tiang pancang digunakan untuk menopang beban lateral pada kepala jembatan dengan kondisi daerah Sumatra Utara yang memiliki daya dukung tanah yang kecil. Tujuannya untuk menghitung daya dukung lateral dan juga stabilitas terhadap beban statis dan beban dinamis.

Data yang digunakan dalam proyek ini merupakan data tanah SPT (*Standard Penetration Test*). Data tanah SPT merupakan data tanah yang diambil menggunakan uji SPT. Pada pengujian ini, sifat-sifat tanah pasir ditentukan dari pengukuran kerapatan relatif secara langsung di lapangan. Pengujian ini sering dilakukan untuk mengetahui nilai kerapatan relative. Prosedur uji SPT tercantum dalam ASTM D1586 [3].

Untuk tiang yang dibebani secara lateral, Broms [4] mengembangkan suatu metode yang sederhana berdasarkan asumsi-asumsi: (a) keruntuhan geser tanah, terutama untuk kasus-kasus tiang pendek, dan (b) kelenturan tiang yang diakibatkan oleh keruntuhan tahanan batas plastis pada penampang tiang,

dimana diaplikasikan untuk tiang panjang [5].

Dalam setiap kasus, klasifikasi tiang pendek dan panjang harus diperiksa terlebih dahulu. Pondasi tiang individu terdiri dari dua klasifikasi yaitu pondasi tiang pendek dan pondasi tiang panjang, penentuan kriteria dengan cara :

Berdasarkan kekakuan relatif R atau T untuk lapisan pasiran :

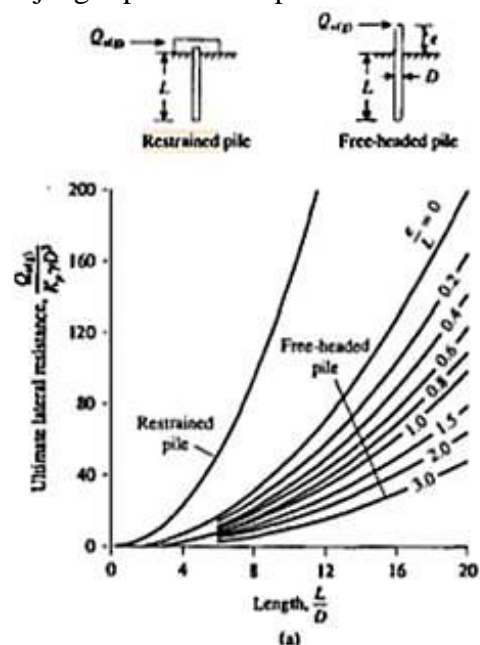
$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p \cdot I_p}{\eta_h}}$$

Tabel 1. Kriteria tiang pendek dan panjang (lapisan pasir)

Sumber: Braja M. Das, 2011

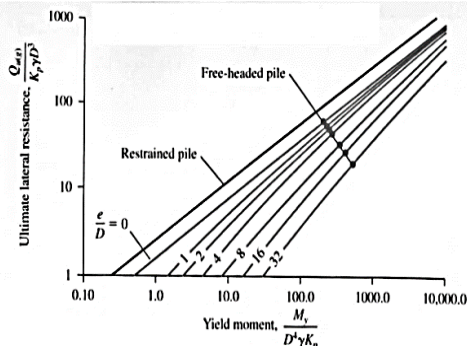
Jenis tiang	Modulus tanah	
Kaku (pendek)	$L \leq 2 T$	$L \leq 2 R$
Elastis (panjang)	$L \geq 4 T$	$L \geq 0,35 R$

Selanjutnya, digunakan solusi-solusi Brom untuk menghitung tahanan ultimit ($Q_{u(g)}$) pada lapisan pasir, untuk tiang-tiang pendek diperlihatkan dalam **Gambar 1**. Sedangkan untuk tiang-tiang panjang diperlihatkan pada **Gambar 2**.



Gambar 1. Solusi Brom untuk maintain tahanan lateral ultimit untuk tiang pendek (*short pile*) pada lapisan pasir.

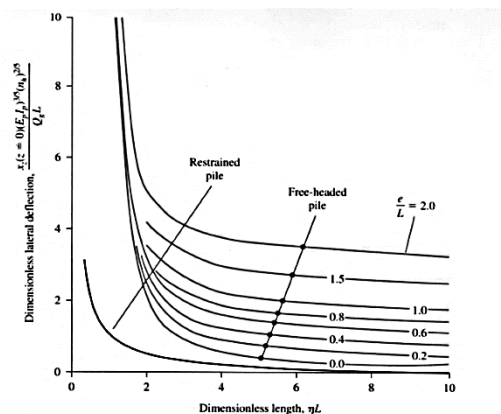
Sumber: Braja M.Das, 2011



Gambar 2. Solusi Brom untuk menentukan tahanan lateral ultimit untuk tiang panjang (*long pile*) pada lapisan pasir.

Sumber: Braja M.Das, 2011

Untuk menentukan kontrol lateral tahanan ijin defleksi ($Q_{(g)}$) terhadap defleksi horizontal kepala tiang menggunakan solusi- solusi brom pada lapisan tanah pasir diperlihatkan pada **Gambar 3.**



Gambar 3. Solusi Brom untuk menentukan defleksi untuk kepala tiang tunggal pada: lapisan pasir.

Sumber: Braja M.Das, 2011

Pada perencanaan pondasi, besarnya defleksi atau lendutan di kepala tiang akibat gaya horizontal maksimal 1,27 cm (1/2 inci) kecuali ditetapkan lain oleh Kepala Dinas Pengawasan Pembangunan Kota (Peraturan DKI-Jakarta No.7 Tahun 1991 Tentang Bangunan Dalam Wilayah DKI-Jakarta, Paragraf 4 (Struktur Bawah), Pasal 147.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah Metode Penelitian Kuantitatif. Berikut adalah tahapan metode penelitian.

Pada tahap pertama yaitu mengidentifikasi masalah yang melatar belakangi penelitian ini. Kemudian membuat rumusan masalah untuk yang akan diteliti pada penelitian ini. Dalam penelitian juga dilakukan studi pustaka dan juga studi literatur dari jurnal penelitian, buku, disertasi, *thesis*, *website* dan juga peraturan terkait.

Tahap kedua adalah pengumpulan data. Tahap ini meliputi tahap pengambilan data sekunder, yaitu data tanah (data tanah uji lapangan dan data tanah laboratorium) yang didapat dari konsultan perencana Proyek Jalan Tol Kisaran – Tebing Tinggi seksi 2, data struktur atas jembatan dan data - data yang terkait.

Tahap ketiga adalah pengolahan data, yaitu menganalisis beban struktur atas jembatan kemudian pemilihan dimensi tiang pancang yang sesuai. Setelah itu, daya dukung lateral pondasi, menentukan jumlah tiang pancang yang diperlukan, efisiensi tiang pancang.

Tahap keempat adalah menganalisis hasil perhitungan apakah daya dukung tersebut kuat menahan beban yang bekerja. Dan stabil ketika dibebani beban statis dan beban dinamis.

Tahap kelima adalah tahap penulisan dan penarikan kesimpulan, tahap ini meliputi penulisan laporan penelitian berdasarkan aturan yang berlaku dan hasil pengolahan data. Kesimpulan diambil berdasarkan teori yang digunakan untuk menjawab masalah yang timbul.

HASIL dan PEMBAHASAN

Hasil Analisa Data Tanah

Hasil Analisa data tanah dapat dilihat pada **Tabel 2**, sebagai berikut:

Tabel 2. Data *standard penetration test*
STANDARD PENETRATION TEST

Project	: Jalan
Test No.	: BH-80
Site name	: Tol-Inkis Seksi 2
Location	: Kisaran, Sumatra Utara

PERHITUNGAN DATA SPT

Depth	N	γ_m (t/m ³)	Lapisan tanah
0	0	1,746	Lanau
-2,5	3	1,776	Pasir lempungan
-5	4	1,786	Pasir halus
-7,5	16	1,906	
-10	17	1,916	
-12,5	21	1,956	Pasir Lempungan
-15	20	1,946	Pasir kasar
-17,5	27	2,016	
-20	24	1,986	Pasir Halus
-22,5	27	2,016	
-25	25	1,996	
-27,5	29	2,036	
-30	28	2,026	Pasir Kasar
-32,5	30	2,046	
-35	34	2,086	
-37,5	35	2,096	
-40	46	2,206	

Berdasarkan dari data SPT BH-80 yang sudah diperoleh dari dapat kita tentukan klasifikasi tanah dengan menentukan nilai N-SPT dan efisiensi energi pemukul. Berikut adalah perhitungan data SPT, diambil data pengeboran di titik BH-80, yaitu:

Kedalaman (<i>Depth</i>)	: 30 m
Nilai N-SPT	: 28 (dapat dilihat pada Tabel 2)
E_m	: 0.5
C_B	: 1.0
C_S	: 1.0
C_R	: 0,75

$$N_{60} = \frac{N \times E_m \times C_B \times C_S \times C_R}{0.6} = \frac{28 \times 0.5 \times 1 \times 1 \times 0,75}{0.6} = 17,5$$

Dimana:

N_{60} = Angka penetrasi yang telah dikoreksi dengan kondisi lapangan

N = Angka penetrasi

E_m = Efisiensi-efisiensi energi

C_B = Koreksi untuk diameter lubang bor

C_S = Koreksi benda uji

C_R = Koreksi Panjang batang

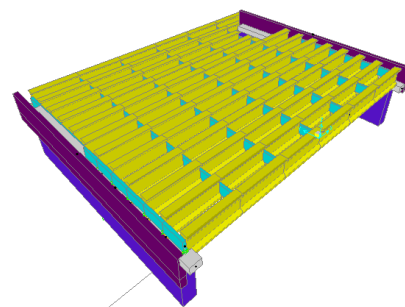
Hasil Analisis Struktur beban Atas

Untuk mendapatkan nilai gaya-gaya yang bekerja pada pondasi, perlu dilakukan perhitungan pembebanan struktur jembatan. Pembebanan jembatan yang dianalisa mengacu pada peraturan SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan.

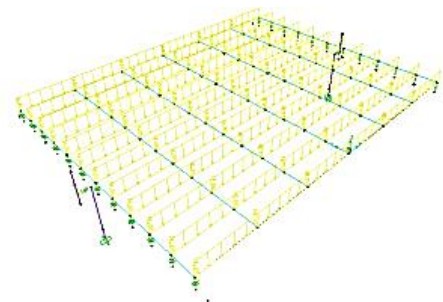
Comb 1 : 1,2 DL+ 2,0 SDL + 1,8 LL

Comb 2 : DL + EQLL ± EQx ± 0,3 EQy

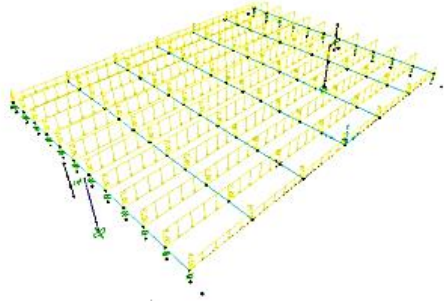
Comb 3 : DL + EQLL ± EQy ± 0,3 EQx



Gambar 4. Pembebanan struktur atas Jembatan



Gambar 5. Contoh pembebanan jembatan untuk beban mati (Dead load)



Gambar 6. Contoh pembebanan jembatan untuk beban lalu lintas (Live load)

Dari hasil analisis stuktur didapatkan beban horizontal maksimum yaitu 44929,7 kN. Beban ini menjadi dasar kontrol perhitungan daya dukung lateral tiang (dapat dilihat pada **Tabel 3**).

Penentuan kriteria Tiang Panjang dan pendek

Dari data yang diperoleh dapat diketahui bahwa jenis tanah pada kedalaman 30 m adalah berpasir kasar.

Perhitungan untuk tiang pancang berdiameter 50 cm pada kedalaman 30 m. Pasir $L \leq 2T$ untuk klasifikasi tiang pendek; $L \geq 4T$ untuk klasifikasi tiang panjang.

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p \cdot I_p}{\eta_h}}$$

$$E_p = 240000 \text{ kg/cm}^2$$

$$I_p = \frac{1}{2} \pi R^4$$

$$I_p = \frac{1}{2} \cdot \frac{22}{7} \cdot 25^4 = 613592,3 \text{ cm}^4$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{240000 \text{ kg/cm}^2 \cdot 613592,3 \text{ cm}^4}{0,35 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$= 140,39 \text{ cm}$$

$$L \leq 2T$$

$$2T = 2 \cdot 211,25 = 422,51 \text{ cm}$$

$$L \geq 4T$$

$$4T = 4 \cdot 211,25 = 845,02 \text{ cm}$$

$$L = 3000 \text{ cm} \geq 845,02 \text{ cm}$$

Dari hasil perhitungan maka dapat diklasifikasikan Tiang Panjang.

Perhitungan Daya Dukung Lateral Ultimit ($Q_{u(g)}$)

$$F_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = \frac{1}{32} \times \pi \times D^3$$

$$= \frac{1}{32} \times \frac{22}{7} \times (50 \text{ cm})^3$$

$$= 2652 \text{ cm}^3$$

$$M_y = F_y \times S$$

$$= 4000 \text{ kg/cm}^2 \times 12272 \text{ cm}^3$$

$$= 49087385 \text{ kg.cm}$$

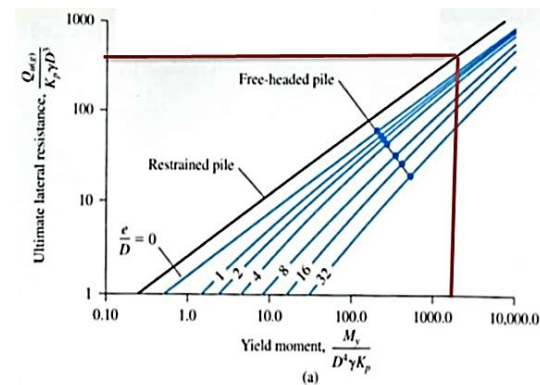
$$\phi = 35,00$$

$$K_p = 1 + \left(\tan 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) = 3,70$$

$$\gamma_{\text{sat}} \text{ atau } \gamma_{\text{dry}} = 0.0018 \text{ kg/cm}^3$$

$$\frac{M_y}{D^4 \gamma K_p} = \frac{49087385 \text{ kg.cm}}{(50 \text{ cm})^4 \cdot \frac{0,0018 \text{ kg}}{\text{cm}} \cdot 2,89}$$

$$= 1205,33$$



Gambar 7. Solusi Brom untuk menentukan tahanan lateral ultimit untuk tiang panjang (*long pile*) pada lapisan pasir.

Dari grafik di atas didapatkan nilai $Q_{u(g)} / K_p \gamma D^3$ sebesar 300 untuk tiang jepit dan 200 untuk tiang bebas mendapatkan daya dukung *ultimate*.

Tiang panjang (jepit)

$$\frac{Q_{u(g)}}{K_p \gamma D^3} = 300,00$$

$$Q_{u(g)} = \frac{Q_{u(g)}}{K_p \gamma D^3} \times K_p \cdot \gamma \cdot D^3$$

$$= 300 \times 3,70 \times 0,018 \text{ kg/cm}^3 \times (50 \text{ cm})^3$$

$$= 244351,62 \text{ kg} = 244,35 \text{ ton}$$

Tiang panjang (bebas)

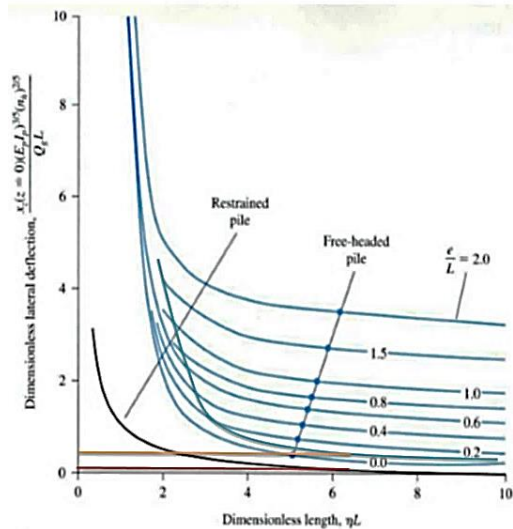
$$\frac{Q_{u(g)}}{Kp \gamma D^3} = 300,00$$

$$Q_{u(g)} = \frac{Q_{u(g)}}{Kp \gamma D^3} \times Kp \cdot \gamma \cdot D^3$$

$$= 300,00 \times 3,7 \times 0,018 \text{ kg/cm}^3 \times (50 \text{ cm})^3$$

$$= 162901,08 \text{ kg} = 162,90 \text{ ton}$$

Kontrol Tahanan Lateral Ijin (Q_(g)) Terhadap Defleksi Horizontal



Gambar 8. Solusi Brom untuk menentukan defleksi untuk kepala tiang tunggal pada lapisan pasir.

Dari grafik di atas didapatkan nilai $\frac{XZ(z=0)(E_p \cdot I_p)^{3/5} (\eta L)^{2/5}}{Q_{g,L}}$ sebesar 0,05 untuk tiang jepit dan 0,32 untuk tiang bebas untuk mendapatkan daya dukung ijin.

Q_(g) kondisi jepit

$$\frac{XZ(z=0)(E_p \cdot I_p)^{3/5} (\eta L)^{2/5}}{Q_{g,L}} = 0,05$$

$$XZ(z=0) = 1,27 \text{ cm}$$

$$Q_{(g)} = \frac{XZ(z=0)(E_p \cdot I_p)^{3/5} (\eta L)^{2/5}}{L \cdot 0,05}$$

$$= \frac{1,27 \text{ cm} \times 1473729,215 \times 3,403}{3000 \times 0,05}$$

$$= 136495,5133 \text{ kg}$$

$$= 136,50 \text{ ton}$$

$$Q_{u(g)} \text{ ultimit} > Q_{u(g)} \text{ ijin}$$

$$244,35 \text{ ton} > 136,50 \text{ ton} \rightarrow \text{OK}$$

Q_(g) kondisi bebas

$$\frac{XZ(z=0)(E_p \cdot I_p)^{3/5} (\eta L)^{2/5}}{Q_{g,L}} = 0,32$$

$$XZ(z=0) = 1,27 \text{ cm}$$

$$Q_{(g)} = \frac{XZ(z=0)(E_p \cdot I_p)^{3/5} (\eta L)^{2/5}}{L \cdot 0,32}$$

$$= \frac{1,27 \text{ cm} \times 1473729,21 \times 3,403}{3000 \times 0,32}$$

$$= 16290,11 \text{ kg} = 16,29 \text{ ton}$$

$$Q_{u(g)} \text{ ultimit} > Q_{u(g)} \text{ ijin}$$

$$162,90 \text{ ton} > 16,29 \text{ ton} \rightarrow \text{OK}$$

(Dapat dilihat pada Tabel 4).

Perhitungan Daya Dukung Lateral Grup

Dalam perhitungan grup tiang jumlah tiang yang digunakan adalah konfigurasi 40 tiang menggunakan efisiensi dengan rumus- rumus sebagai berikut :

Formula sederhana,

$$\eta_1 = \frac{(2x(m+n-2)) \times S \text{ rata-rata} + (4+B)}{(P \times m \times n)}$$

$$= \frac{(2x(4+10-2)) \times 150 \text{ cm} + (4+50 \text{ cm})}{(157 \text{ cm} \times 4 \times 10)}$$

$$= 0,6$$

Converse – Labarre dari *Uniform Building Code AASHTO*

$$\frac{D}{S} = \frac{50 \text{ cm}}{3000 \text{ cm}} = 0.33$$

$$\theta = \arctan 0.33 \cdot \frac{180}{\pi} = 18,43^\circ$$

$$\eta_2 = 1 - \left((n-1) \times m \times (m-1) \times n \right) \times \left(\frac{\theta}{90 \times m \times n} \right)$$

$$= 1 - ((10-1) \times 4 + (4-1) \times 10) \times \frac{18,43^\circ}{90 \times 4 \times 10} = 0.66$$

Los Angeles Group Action Equation

$$\pi = 3,143$$

$$\eta_4 = 1 - \frac{30 \text{ cm}}{3.143 \times 150 \text{ cm} \times 4 \times 10} \times (4 \times (10-1)) + (10 \times (4-1)) + (2^2 \times (4-1) \times (10-1))$$

$$= 0.72$$

Seiler-Keeney Equation (Seiler and Keeney, 1994)

$$\eta_5 = 1 - \frac{36 \times 150 \text{ cm} \times (4+10-2)}{75 \times (150 \text{ cm})^2 - 7} \times (4 \times (10-1)) + \left(\frac{0.3}{(4+10)} \right)$$

$$= 1.04$$

Dari 4 persamaan diambil nilai rata-rata sebagai berikut:

η rata-rata

$$= \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4}{4}$$

$$= \frac{0.6 + 0.66 + 0.72 + 1.04}{4}$$

$$= 0,75 \text{ (diambil)}$$

Daya dukung kelompok tiang dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q_{u(g)} = \sum Q_u \times \eta \text{ (blok)}$$

$$L_g = 550 \text{ cm}$$

$$B_g = 1440 \text{ cm}$$

$$q_{total} = 6,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{u(g)} = q_{total} \times (B_g \times L_g) \times \eta$$

$$= 6,3 \text{ kg/cm}^2 \times (550 \text{ cm} \times 1440 \text{ cm})$$

$$\times 0,75$$

$$= 3779,3 \text{ ton}$$

Stabilitas terhadap beban Statis

Dalam perhitungan stabilitas beban statis yaitu beban dengan tidak dipengaruhinya beban gempa. Dihitung dengan grup tiang menggunakan konfigurasi 40 buah tiang pancang pada kedalaman 30 m. Dengan jarak tiang pancang bervariasi. Perhitungan stabilitas dengan beban sebagai berikut :

$$P_v = 13692,71 \text{ kN} = 1369,27 \text{ ton}$$

$$M_x = 0 \text{ kN-m} = 0 \text{ ton-cm}$$

$$H_x = 44929,7 \text{ KN} = 4492,97 \text{ ton}$$

$$W_{pilecap} = 287,1 \text{ ton}$$

$$H_{total} = H_{max} + W_{pilecap}$$

$$= 4764,41 \text{ ton}$$

$$Q_{ijin} \text{ (tunggal)} = 136,5 \text{ ton}$$

Kontrol beban aksial maksimum akibat beban sementara

$$X_1 = X_2 = \frac{150}{2} = 75 \text{ cm}$$

$$Y_1 = Y_2 = 75 \text{ cm}$$

$$\sum \text{tiang(n)} = 40$$

$$M_y \cdot X = 18158400 \text{ ton-cm.cm}$$

$$\sum X^2 = 225000,0 \text{ cm}^2$$

$$\frac{M_y \cdot X}{\sum X^2} = 80,704 \text{ ton}$$

$$M_x \cdot y = 0 \text{ ton.cm.cm}$$

$$\sum Y^2 = 225000,0 \text{ cm}^2$$

$$\frac{M_x \cdot Y}{\sum Y^2} = 0 \text{ ton}$$

$$H_{maks} = \frac{H_{total}}{n} + \frac{M_y \cdot X}{\sum X^2} + \frac{M_x \cdot Y}{\sum Y^2}$$

$$= 200,21 \text{ ton}$$

$$Q_u \text{ (grup)} = 3779,73 \text{ ton}$$

$$H_{maks} < Q_u \text{ (grup)}$$

$$200,21 \text{ ton} < 3764,94 \text{ ton} \rightarrow \text{OK}$$

$$\Delta < 1,27 = \frac{H_{maks}}{Q_u \text{ (grup)}} \times 1,27 \text{ cm}$$

$$= \frac{199,81 \text{ ton}}{3779,73 \text{ ton}} \times 1,27 \text{ cm}$$

$$= 0,0671 \text{ cm}$$

Dari hasil perhitungan di atas tiang pancang dengan konfigurasi tersebut dapat menahan gaya tekan lateral statis dan tetap stabil.

Stabilitas terhadap beban dinamis

Dalam perhitungan stabilitas beban statis yaitu beban yang dipengaruhi oleh beban gempa. Dihitung dengan grup tiang menggunakan konfigurasi 40 buah tiang pancang pada kedalaman 30 m. Dengan jarak tiang pancang bervariasi. Perhitungan stabilitas dengan beban sebagai berikut :

$$P_v = 18755,3 \text{ kN} = 1875,53 \text{ ton}$$

$$M_x = 8895,51 \text{ kN-m}$$

$$H_x = 44929,7 \text{ KN} = 4492,97 \text{ ton}$$

$$W_{pilecap} = 287,1 \text{ ton}$$

$$H_{total} = H_{max} + W_{pilecap}$$

$$= 4806,17 \text{ ton}$$

$$Q_{ijin} \text{ (tunggal)} = 136,5 \text{ ton}$$

Kontrol beban aksial maksimum akibat beban sementara

$$X_1 = X_2 = \frac{150}{2} = 75 \text{ cm}$$

$$Y_1 = Y_2 = 75 \text{ cm}$$

$$\sum \text{tiang(n)} = 40$$

$$M_y \cdot X = 363095625 \text{ ton-cm.cm}$$

$$\sum X^2 = 225000,0 \text{ cm}^2$$

$$\frac{M_y \cdot X}{\sum X^2} = 1613,758 \text{ ton}$$

$$M_x \cdot y = 667163,3 \text{ ton.cm.cm}$$

$$\sum Y^2 = 225000,0 \text{ cm}^2$$

$$\frac{M_x \cdot Y}{\sum Y^2} = 3 \text{ ton}$$

$$H_{maks} = \frac{H_{total}}{n} + \frac{M_y \cdot X}{\sum X^2} + \frac{M_x \cdot Y}{\sum Y^2}$$

$$= 1735,88 \text{ ton}$$

$$Q_u \text{ (grup)} = 3779,73 \text{ ton}$$

$$H_{maks} < Q_u \text{ (grup)}$$

$$1735,88 \text{ ton} < 3779,73 \text{ ton} \rightarrow \text{OK}$$

$$\begin{aligned}\Delta < 1.27 &= \frac{H_{maks}}{Q_u(grup)} \times 1.27 \text{ cm} \\ &= \frac{1624,96 \text{ ton}}{3779,73 \text{ ton}} \times 1.27 \text{ cm} \\ &= 0,5834 \text{ cm}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas tiang pancang dengan konfigurasi tersebut dapat menahan gaya tekan lateral dinamis dan tetap stabil.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan analisis daya dukung lateral pondasi untuk pembangunan proyek jembatan pada Jalan Tol Indrapura Kisaran seksi 2 di STA. 153+509 dengan metode Broms menunjukkan bahwa dengan menggunakan dimensi tiang pancang berdiameter 50 cm dan dengan konfigurasi 40 tiang dinyatakan stabil terhadap beban statis dan juga beban dinamis. Hasil analisis daya dukung lateral tiang juga dinyatakan stabil jika dibandingkan dengan lateral ijin tiang.

SARAN

Saran yang dapat diberikan Penulis untuk penelitian selanjutnya :

- 1) Diharapkan untuk ke depannya, penulis yang akan melakukan penelitian dengan obyek yang sama dapat mendapatkan data lebih lengkap.
- 2) Diharapkan untuk kedepannya, penulis yang akan membuat perhitungan perencanaan pondasi tiang pancang dapat melakukan perencanaan dan pengawasan yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Das, Braja M. 2011. "Principal of Foundation Engineering 7th Edition". ThomsonToronto
- [2] Hardiyatmo, H. C., 2006, "Teknik Fondasi I", Beta Offset, Yogyakarta.
- [3] Badan Standarisasi Nasional, 2012, SNI-1726-2012 "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung". Bandung: Departemen Pekerjaan Umum
- [4] Badan Standarisasi Nasional, 2016, SNI 1725 2016 "Pembebanan untuk Jembatan", Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [5] Hardiyatmo, H. C., 2006, "Teknik Fondasi II", Beta Offset, Yogyakarta.
- [6] Hardiyatmo, H. C., 2011, "Analisis dan Perancangan Fondasi bagian I", Gadjah Mada Universiy Press, Yogyakarta.
- [7] Hardiyatmo, H. C., 2010, "Analisis dan Perancangan Fondasi bagian II", Gadjah Mada Universiy Press, Yogyakarta.
- [8] Susanto, Agus; Renaningsih, Diocta Ichi Puteri P, (2019) "Perencanaan Ulang Fondasi Tiang Pancang Pada Abutment Jembatan Kolonel Sunandar Kab. Demak-Kudus Jawa Tengah"
- [9] Sunanda, Arie. "Kajian Stabilitas Pondasi Kelompok Tiang Pancang Rencana Jembatan Mualaf Kecamatan Tenggarong." *KURVA S JURNAL MAHASISWA* 4, no. 2 (2016): 519-524.
- [10] Ryan, T.G.S., 2018. "Analisis Stabilitas Sistem Fondasi Tiang Pancang (Studi Kasus Struktur Bangunan Gedung Terminal Penumpang Bandar Udara Sultan Kaharudin (Brangbiji-Sumbawa))"
- [11] Tambunan, Jhonson. "Studi Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang." *Jurnal Rancang Sipil* 1, no. 1 (2012): 21-30.

- [12] Vidayanti, Desiana, Pintor T. Simatupang, and Sido Silalahi. "Korelasi Nilai N-SPT Dengan Parameter Kuat Geser Tanah Untuk Wilayah Jakarta dan Sekitarnya (133G)." *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7* (2013): 99-107.
- [13] Kasturi, Silvia. "Analisis Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal dengan Metode Analitis dan Metode Elemen Hingga." *Jurnal Teknik Sipil USU* 1, no. 2 (2013).
- [14] Heragita, Lilonna Ayu, Pujo Priyono, and Suhartinah Suhartinah. "Studi Kekuatan Stabilitas Abutment Pada Jalan Tol Pandaan–Malang STA 15+916 Terhadap Pengaruh Gempa Sesuai Dengan Sni 2833–2016." *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon* 3, no. 2 (2018).

Lampiran Tabel dan Gambar

Tabel 3. Hasil analisis struktur atas jembatan

Non Gempa							
Load	Hx (kN)	Hy (Kn)	Axial (Kn)	Torsion (kNm)	Momen X (kNm)	Momen y (kNm)	Momen Z (kNm)
COMB1	-44929,7	0	13692,71	0	0	-242112	0
Gempa							
Load	Hx(kN)	Hy (Kn)	Axial (Kn)	Torsion (kNm)	Momen x (kNm)	Momen y (kNm)	Momen Z (kNm)
COMB2	-44929,7	-162,842	18755,3	65,3598	-889,551	-242015,5	12,950
COMB3	-44929,7	-162,842	16556,04	65,3598	-889,551	-241823,5	12,950

Sumber: hasil olahan penulis

Tabel 4. Kontrol Tahanan Lateral Ijin ($Q_u(g)$) Terhadap Defleksi Horizontal pada kedalaman 30 m untuk diameter 40 cm dan 50 cm

Diameter Tiang (D)	$Q_u(g)$ (Jepit)	$Q_u(g)$ (bebas)	$Q(g)$ kondisi jepit	$Q(g)$ kondisi bebas	Kondisi Jepit	Kondisi bebas
(cm)	ton	ton	ton	ton	$Q(g) < Q_u(g)$	$Q(g) < Q_u(g)$
40	133,45	104,26	80,06	10,43	OK	OK
50	244,35	162,90	136,50	16,29	OK	OK

Tabel 3. Hasil perhitungan daya dukung grup 40 tiang dengan beberapa konfigurasi diameter dan jarak

Pondasi Tiang	s = D	L	m	n	Syarat	η (rata-rata)	$Q_u(\text{tunggal})$	$Q_u(g) = \sum Q_u \cdot \eta$	q_{total}	$Q_u(g) = S Q_u \cdot h$ (blok)	$Q_u(g)$ (diambil)
	(cm)	(cm)			(2 - 3) D	(ton)	(ton)	(kg/cm ²)	(ton)	(ton)	

Beton prategang	40	3000	4	10	2,0 D	0,64	80,06	2042,10	6,34	1034,59	1034,59
	40	3000	4	10	2,5 D	0,70	80,06	2225,80	6,34	1640,39	1640,39
	40	3000	4	10	3,0 D	0,74	80,06	2368,76	6,34	2392,67	2368,76
	50	3000	4	10	2,0 D	0,64	136,50	3504,56	6,34	1627,25	1627,25
Beton prategang	50	3000	4	10	2,5 D	0,70	136,50	3817,50	6,34	2578,51	2578,51
	50	3000	4	10	3,0 D	0,75	136,50	4082,90	6,34	3779,73	3779,73

Sumber: hasil olahan penulis

Tabel 4. Hasil perhitungan stabilitas terhadap beban statis dengan konfigurasi 40 tiang

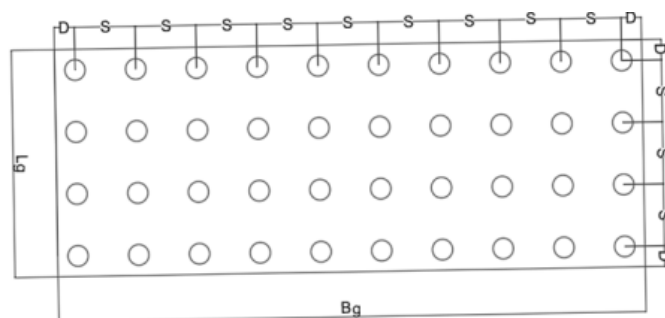
Diameter	Konfigurasi jumlah tiang	Tipe	Hmaks (Htotal+Wpile cap)	Qg grup	Hmaks < Qugrup	D < 1,27	Kontrol terhadap defleksi kepala jembatan
Cm	buah tiang		Ton	ton		cm	
40	40	S= 2D	265,95	1034,59	STABIL	0,326	STABIL
		S= 2,5 D	236,73	1640,39	STABIL	0,183	STABIL
		S= 3D	217,80	2368,76	STABIL	0,117	STABIL
50	40	S= 2D	236,98	1627,25	STABIL	0,185	STABIL
		S= 2,5 D	214,41	2578,51	STABIL	0,106	STABIL
		S= 3D	200,21	3779,73	STABIL	0,067	STABIL

Sumber : hasil olahan sendiri

Tabel 7. Hasil perhitungan stabilitas terhadap beban dinamis dengan konfigurasi 40 tiang

Diameter	Konfigurasi jumlah tiang	Tipe	Hmaks (Htotal+Wpile cap)	Qg grup	Hmaks < Qugrup	D < 1,27	Kontrol terhadap defleksi kepala jembatan
Cm	buah tiang		Ton	ton		cm	
40	40	S= 2D	3145,98	1034,59	Tidak Stabil	3,8618	Tidak STABIL
		S= 2,5 D	2540,76	1640,39	Tidak Stabil	1,9671	Tidak STABIL
		S= 3D	2137,82	2368,76	STABIL	1,1462	STABIL
50	40	S= 2D	2541,01	1627,25	Tidak Stabil	1,9832	Tidak STABIL
		S= 2,5 D	2057,63	2578,51	STABIL	1,0134	STABIL
		S= 3D	1736,23	3779,73	STABIL	0,5834	STABIL

Sumber : hasil olahan sendiri



Gambar 9. Konfigurasi 40 tiang