

Evaluasi Dimensi Tiang Pancang Dermaga di Daerah Pesisir Kabupaten Kolaka dengan Mempertimbangkan Pengaruh Likuifaksi

A. Minmahddun^{a*} dan U. Mangidi^a

^aJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia 93232

* Corresponding author's e-mail: anaf.minmahddun@uho.ac.id

Received: 21 July 2024; revised: 5 August 2024; accepted: 8 August 2024

Abstract: The pier in the coastal area of Kolaka Regency plays a crucial role in the distribution of goods and economic enhancement. However, the risk of liquefaction due to earthquakes threatens the stability and safety of the pier structure. This study aims to evaluate the dimensions of the pier piles considering the effects of liquefaction. The research methodology includes the analysis of liquefaction potential using the NCEER method, axial load capacity analysis using the Briaud method, and deflection analysis using the Broms method. Foundation analysis under liquefaction conditions is simplified by assuming the SPT values in the liquefied soil layer to be zero. Standard Penetration Test (SPT) data were used to assess soil conditions at the pier location. The analysis results indicate that the sand layer at a depth of 6-12 meters has a high potential for liquefaction, primarily due to the high content of coarse grains and a fine particle percentage of 15%. The increase in peak ground acceleration (PGA) in the Sulawesi region also amplifies the potential for liquefaction. The foundation analysis without considering liquefaction shows that the pile dimensions with a depth of 25 meters meet the design criteria, although deflection approaches the permissible limit. However, under liquefaction conditions, there is a slight reduction in axial load capacity (3%), but the pile deflection increases beyond the allowable limit. To mitigate the risk of liquefaction and ensure the safety of the pier, it is recommended to extend the pile depth to 28 meters.

Keywords: pier, liquefaction, bearing capacity, deflection

Abstrak: Dermaga di daerah pesisir Kabupaten Kolaka memegang peranan penting dalam distribusi barang dan peningkatan perekonomian. Namun, risiko likuifaksi akibat gempa bumi mengancam stabilitas dan keamanan struktur dermaga. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dimensi tiang pancang dermaga dengan mempertimbangkan pengaruh likuifaksi. Metodologi penelitian meliputi analisis potensi likuifaksi menggunakan metode NCEER, analisis daya dukung aksial menggunakan metode Briaud, dan analisis defleksi menggunakan metode Broms. Analisis fondasi pada kondisi likuifaksi disimplifikasi dengan menganggap nilai SPT pada lapisan tanah yang terlikuifaksi adalah nol. Data *Standard Penetration Test* (SPT) digunakan untuk mengevaluasi kondisi tanah di lokasi dermaga. Hasil analisis menunjukkan bahwa lapisan pasir pada kedalaman 6-12 meter berpotensi mengalami likuifaksi, terutama karena kandungan butiran kasar yang tinggi dan persentase butiran halus sebesar 15%. Peningkatan percepatan puncak gempa (PGA) di wilayah Sulawesi juga memperbesar potensi likuifaksi. Analisis fondasi tanpa likuifaksi mengindikasikan bahwa dimensi tiang pancang dengan kedalaman 25 meter memenuhi kriteria desain yang dipersyaratkan, meskipun defleksi mendekati batas izin. Namun, dalam kondisi likuifaksi, terjadi penurunan daya dukung aksial yang tidak signifikan (3%), tetapi defleksi tiang meningkat hingga melebihi batas izin. Untuk mengantisipasi risiko likuifaksi dan memastikan keamanan dermaga, disarankan untuk memperpanjang tiang pancang hingga kedalaman 28 meter.

Kata kunci: dermaga, likuifaksi, daya dukung, defleksi

1. Pendahuluan

Dermaga merupakan salah satu infrastruktur vital yang mendukung kegiatan distribusi barang dan penumpang, serta memainkan peran penting dalam peningkatan perekonomian lokal dan nasional. Di Kabupaten Kolaka, dermaga pesisir memegang peranan strategis dalam menghubungkan berbagai wilayah, baik domestik maupun internasional. Dermaga ini menjadi pintu gerbang utama bagi barang-barang yang masuk dan keluar, sehingga kelancaran operasionalnya sangat menentukan keberlangsungan aktivitas ekonomi daerah [1], [2].

Namun, pembangunan dan operasional dermaga di daerah pesisir tidak terlepas dari berbagai tantangan, salah satunya adalah risiko likuifaksi. Likuifaksi merupakan fenomena di mana tanah berpasir jenuh air kehilangan kekuatan dan kekakuannya akibat beban dinamis, seperti gempa bumi [3]. Fenomena ini dapat menyebabkan permukaan tanah berubah menjadi seperti cairan, sehingga

menurunkan daya dukung tanah dan mengakibatkan kerusakan pada struktur yang berdiri di atasnya.

Peristiwa likuifaksi yang terjadi di Indonesia, seperti di Petobo, Palu pada tahun 2018, telah memberikan pelajaran penting mengenai dampak serius likuifaksi terhadap infrastruktur [4], [5]. Kerusakan parah yang terjadi akibat likuifaksi menunjukkan betapa pentingnya mempertimbangkan risiko ini dalam perencanaan dan desain struktur. Dermaga di daerah pesisir Kabupaten Kolaka, yang berada di kawasan rawan gempa, juga berpotensi menghadapi ancaman serupa. Oleh karena itu, evaluasi dan perencanaan yang komprehensif dengan mempertimbangkan risiko likuifaksi sangat diperlukan untuk memastikan keamanan dan keberlanjutan dermaga.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dimensi tiang pancang dermaga yang telah direncanakan dengan memasukkan pengaruh likuifaksi dalam analisis. Metodologi yang digunakan meliputi analisis potensi

likuifaksi menggunakan metode NCEER (*National Center for Earthquake Engineering Research*) [6], analisis daya dukung tiang pancang menggunakan metode Briaud [7], dan analisis defleksi tiang pancang menggunakan metode Broms [8]. Metode NCEER dipilih karena mampu memberikan evaluasi komprehensif terhadap potensi likuifaksi berdasarkan kondisi geoteknik lokal dan parameter seismik. Metode Briaud digunakan untuk mengevaluasi daya dukung tiang pancang dengan mempertimbangkan karakteristik tanah yang telah mengalami likuifaksi, sementara metode Broms digunakan untuk menganalisis defleksi tiang pancang guna memastikan kestabilan struktural.

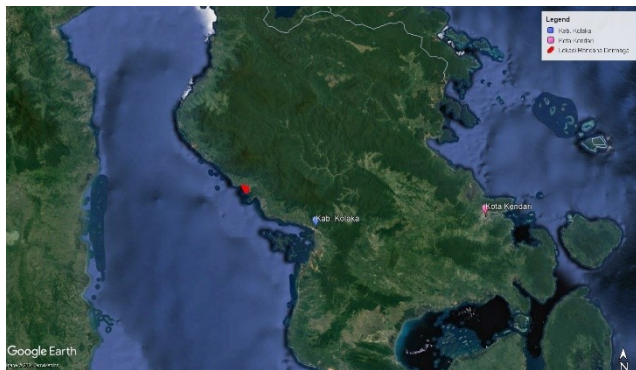
Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi yang lebih akurat dan komprehensif mengenai dimensi tiang pancang yang aman untuk digunakan di dermaga pesisir Kabupaten Kolaka. Rekomendasi ini tidak hanya bermanfaat bagi para insinyur dan perencana proyek dalam meningkatkan keamanan dan ketahanan struktur dermaga, tetapi juga bagi pembuat kebijakan dalam mengembangkan pedoman teknis dan regulasi yang lebih baik terkait pembangunan infrastruktur di daerah rawan likuifaksi.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi dalam bidang teknik sipil dan rekayasa geoteknik, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap peningkatan ketahanan infrastruktur maritim di Indonesia. Keberhasilan penelitian ini diharapkan dapat menjadi contoh bagi evaluasi dan perencanaan infrastruktur lainnya di berbagai daerah yang memiliki risiko likuifaksi, sehingga pembangunan infrastruktur yang aman dan berkelanjutan dapat tercapai.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Pesisir Kolaka yang terletak di tepi Teluk Bone (Gambar 1) merupakan lokasi strategis untuk pembangunan dermaga karena memiliki perairan yang cukup dalam, cocok untuk akses kapal-kapal besar, serta aksesibilitas yang baik dengan konektivitas jalan menuju pusat-pusat ekonomi seperti Kota Kolaka [9]. Namun, dalam perencanaan penting untuk mempertimbangkan kerentanan terhadap likuifaksi akibat gempa bumi, mengingat wilayah pesisir berpotensi mengalami likuifaksi jika terjadi gempa karena keberadaan lapisan sedimen yang jenuh air [3].



Gambar 1. Lokasi studi

2.2. Analisis Potensi Likuifaksi

Analisis potensi likuifaksi dilakukan untuk mengetahui kedalaman lapisan tanah yang berpotensi mengalami likuifaksi. Faktor yang mempengaruhi likuifaksi adalah *cyclic stress ratio* (CSR) dan *cyclic resistance ration* (CRR). CSR adalah nilai tegangan pada lapisan tanah yang disebabkan oleh gempa bumi. Nilai CSR dapat dihitung menggunakan persamaan berikut: [10]

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0,65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d \quad (1)$$

dengan:

- a_{max} = Percepatan puncak gempa dipermukaan ($PGA \times F_{PGA}$) [11]
- g = Percepatan gravitasi (m/s^2)
- σ_{vo} = Tekanan overburden total (kPa)
- σ'_{vo} = Tekanan overburden efektif (kPa)
- r_d = Koefisien reduksi tegangan

Nilai koefisien reduksi tegangan merupakan fungsi kedalaman (z) yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$z \leq 9,15 m, \quad r_d = 1 - 0,00765z \quad [12] \quad (2a)$$

$$9,15 m < z \leq 23 m, \quad r_d = 1,174 - 0,0267z \quad [12] \quad (2b)$$

CRR adalah nilai tahanan tanah terhadap likuifaksi yang dipengaruhi oleh jenis tanah. Nilai CRR dapat diketahui dari data hasil pengujian *standard penetration test* (SPT) [13] dan persentase butiran halus [14] menggunakan grafik pada Gambar 2. Nilai SPT yang diperoleh dari hasil pengukuran lapangan tidak bisa langsung digunakan dalam menentukan nilai CRR. Nilai SPT harus dikoreksi terhadap metode pelaksanaan dan tekanan overburden menggunakan persamaan berikut:

$$(N_1)_{60} = N_m C_N C_E C_B C_R C_S \quad [6] \quad (3)$$

dimana:

- $(N_1)_{60}$ = Nilai N SPT terkoreksi
- N_m = Nilai pembacaan SPT (N-SPT)
- C_N = Koreksi tegangan overburden
- C_E = Koreksi rasio energi hammer
- C_B = Koreksi diameter borelog
- C_R = Koreksi panjang batang
- C_S = Koreksi sampel

Selain ukuran butiran/*fine content* (FC), plastisitas juga dapat mempengaruhi ketahanan terhadap likuifaksi. Koreksi pengaruh butiran halus terhadap nilai SPT dihitung menggunakan persamaan berikut: [15]

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta(N_1)_{60} \quad [6] \quad (4)$$

dimana α dan β adalah koefisien yang diperoleh dari persamaan berikut:

$$FC \leq 5\%, \quad \alpha = 0 \quad (5a)$$

$$5\% < FC \leq 35\%, \quad \alpha = \exp[1,76 - (190/FC^2)] \quad (5b)$$

$$FC \leq 35\%, \quad \alpha = 5,0 \quad (5c)$$

$$FC \leq 5\%, \quad \beta = 0 \quad (6a)$$

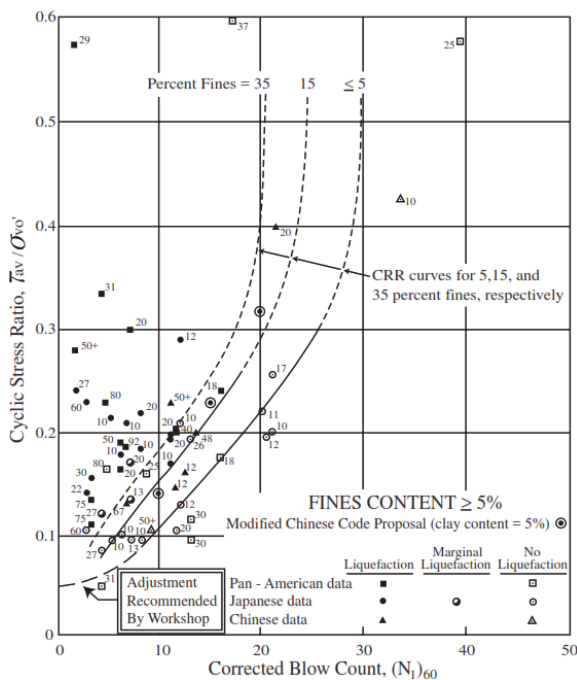
$$5\% < FC \leq 35\%, \quad \beta = \exp[0,99 - (FC^2 / 1000)] \quad (6b)$$

$$FC \leq 35\%, \quad \beta = 1,2 \quad (6c)$$

Nilai masing-masing faktor koreksi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor koreksi nilai SPT modifikasi dari Skempton (1986) [15]

Faktor	Keterangan	Koreksi
C_N		$C_N = (P_a / \sigma'_{vo})^{0.5}$ $C_N \leq 2$
C_E	Donut Hammer Safety Hammer Automatic-Trip Donut-Type Hammer	0.5 – 1 0.7 – 1.2 0.8 – 1.3
C_B	65 mm – 115 mm 150 mm 200 mm	1.0 1.05 1.15
C_R	3 m - 4 m 4 m - 6 m 10 m - 10 m 10 m - 30 m >30 m	0.75 0.85 0.95 1.0 <1.0
C_S	Standard sampler Sampler without liners	1.0 1.1 – 1.3



Gambar 2. Kurva perhitungan CRR dari SPT modifikasi Seed (1985) [15]

Lapisan tanah yang berpotensi mengalami likuifaksi ditentukan dari nilai faktor kemasanan (SF) masing-masing kedalaman. Nilai SF adalah rasio antara CRR dan CSR, dimana $SF < 1$ terjadi likuifaksi dan $SF > 1$ tidak terjadi likuifaksi. Nilai CRR gempa dengan magnitudo selain 7,5

harus dikeroksi menggunakan *magnitude scale factor* (MSF) menggunakan persamaan: [6]

$$MSF = \frac{10^{2,24}}{M^{2,56}} \quad (7)$$

dimana M adalah magnitudo gempa, sehingga SF menjadi:

$$SF = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} MSF \quad (8)$$

2.2. Analisis Daya Dukung Aksial Tiang

Daya dukung aksial tiang diperoleh dari tahanan ujung (Q_b) dan friksi (Q_s) disepanjang tiang seperti yang terdapat pada Gambar 3. Daya dukung ultimate tiang didefinisikan sebagai penjumlahan antara tahanan ujung dan tahanan selimut tiang yang secara matematis dapat ditulis sebagai: [16].

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s \quad (9)$$

$$Q_{ult} = A_b f_b + A_s f_s \quad (10)$$

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} \quad (11)$$

dimana,

Q_{ult} = Daya dukung ultimate tiang (kN)

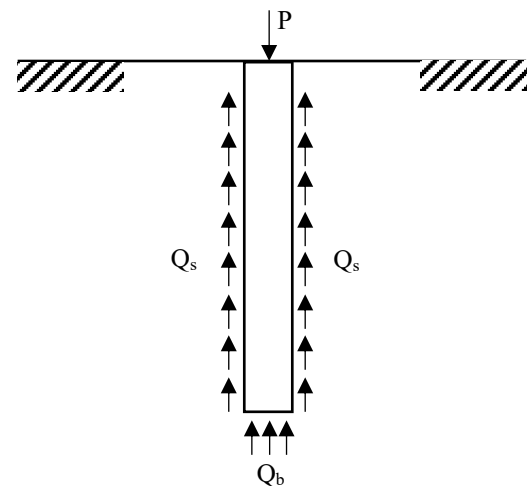
Q_{all} = Daya dukung izin tiang (kN)

A_b = luas ujung bawah tiang (m^2)

A_s = luas selimut tiang (m^2)

f_b = tahanan ujung satuan tiang (kN/m^2)

f_s = tahanan gesek satuan tiang (kN/m^2)



Gambar 3. Ilustrasi daya dukung tiang

Secara empiris, daya dukung ultimate tiang dapat dihitung berdasarkan hasil uji SPT seperti yang diusulkan oleh Briaud dkk. (1985) [7] pada Persamaan 12 dan 13.

$$f_b = 1,97 \sigma_r (N_1)_{60}^{0.36} \quad (12)$$

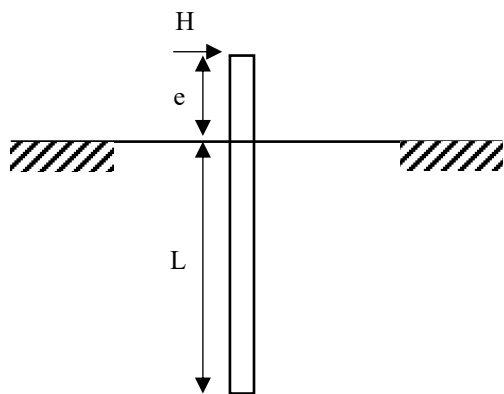
$$f_s = 0,224 \sigma_r (N_1)_{60}^{0.28} \quad (13)$$

dimana σ_r adalah tegangan referensi sebesar 100 kPa

Nilai SPT yang digunakan dalam analisis tahanan ujung tiang merupakan rata-rata nilai SPT disekitar ujung tiang (10D diatas tiang sampai 4D dibawah tiang). Adapun tahanan gesek tiang merupakan rata-rata nilai N-SPT disepanjang tiang [17].

2.3. Analisis Defleksi Tiang

Analisis defleksi tiang dipermukaan tanah (Gambar 4) dilakukan menggunakan metode Broms [8]. Perilaku tiang pada tanah non-koheusif ditentukan oleh besaran tidak berdimensi α yang dihitung menggunakan Persamaan 14.



Gambar 4. Ilustrasi tiang menerima gaya horizontal

$$\alpha = \left(\frac{n_h}{E_p I_p} \right)^{0.2} \tag{14}$$

dimana E_p adalah modulus elastisitas tiang, I_p adalah momen inersia tiang dan n_h adalah koefisien variasi modulus. Terzaghi mengusulkan nilai n_h untuk tanah pasir tak padat, sedang dan padat secara berturut-turut adalah 1.386 kN/m³, 4.850 kN/m³ dan 11.779 kN/m³ [16]. Defleksi lateral tiang ujung bebas berperilaku sebagai tiang panjang ($\alpha L > 4$) adalah:

$$y_o = \frac{2,4H}{(n_h)^{0.6} (E_p I_p)^{0.4}} + \frac{1,6He}{(n_h)^{0.4} (E_p I_p)^{0.6}} \tag{15}$$

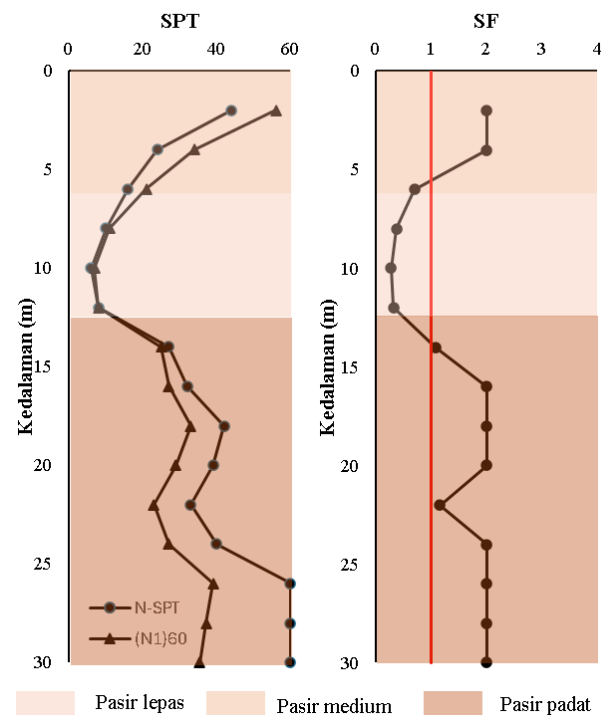
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Potensi Likuifaksi

Analisis likuifaksi dilakukan menggunakan data SPT yang berada di daerah dermaga. Data SPT kemudian diklasifikasikan sesuai kepadatannya [18]. Hasil uji SPT (Gambar 5) menunjukkan kedalaman 0-6 m merupakan tanah pasir medium, kedalaman 6-12 m pasir lepas dan kedalaman 12-30 m merupakan pasir padat dengan lapisan tanah keras (N-SPT > 50) terdapat pada kedalaman 26 m. Hasil uji sampel laboratorium menunjukkan kandungan butiran halus pada lokasi dermaga adalah 15%.

Nilai CRR pada Lokasi dermaga diperoleh menggunakan grafik pada Gambar 1 dengan melakukan koreksi data SPT menggunakan Persamaan 3 dan 4. Nilai PGA dipermukaan kelas situs E dilokasi dermaga adalah 0,301 diperoleh dari perkalian percepatan puncak gempa 0,223 dengan koefisien situs 1.369 [19]. Dengan

menggunakan Persamaan 1 akan diperoleh nilai CSR masing-masing kedalaman. Hasil analisis faktor aman terhadap likuifaksi menggunakan Persamaan 8 dapat dilihat pada Gambar 5.

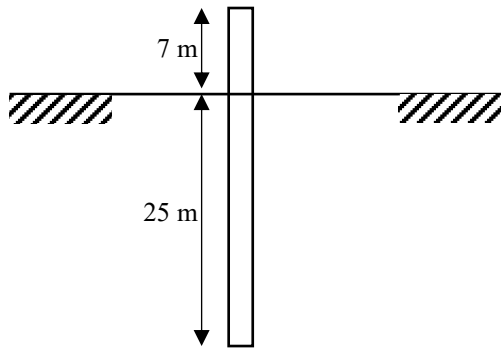


Gambar 5. Data SPT dan faktor aman terhadap likuifaksi

Hasil analisis pada Gambar 5 menunjukkan potensi likuifaksi terjadi (SF < 1) pada kedalaman 6-12 m. Likuifaksi terjadi ketika kenaikan tekanan air pori saat terjadi gempa sama dengan tegangan totalnya sehingga tegangan efektif tanah menjadi hilang [3]. Lapisan yang berpotensi likuifaksi diapit oleh lapisan pasir padat dan medium menyebabkan tidak terjadi drainase ketika terjadi gempa sehingga terjadi kenaikan tekanan air pori. Lapisan tanah pada kedalaman 6-12 m merupakan lapisan pasir lepas jenuh air dengan persentase butiran kasar > 65% dan persentase butiran halus 15% menjadi satu hal yang meningkatkan potensi terjadinya likuifaksi [20], [21]. Selain itu update peta gempa Indonesia menyebabkan kenaikan nilai PGA di daerah Sulawesi menjadi > 0,3g juga menjadi salah satu faktor peningkatan potensi likuifaksi [22].

3.2. Analisis Fondasi Tanpa Likuifaksi

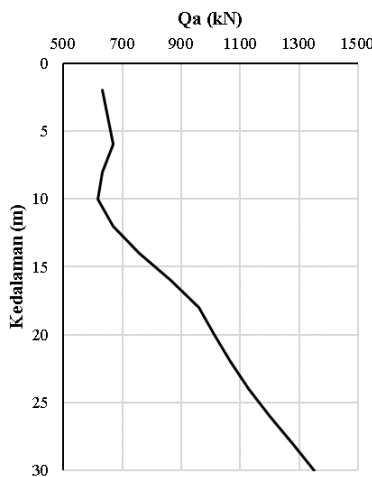
Berdasarkan hasil analisa struktur pada laporan terpisah sebelumnya, gaya vertikal dan lateral maksimal yang bekerja pada tiang adalah 403 kN dan 238 kN dengan telah mempertimbangkan seluruh beban yang bekerja pada dermaga seperti beban mati, beban hidup, beban gelombang, beban angin, beban gempa, beban mooring dan beban *berthing* [23]. Penelitian ini hanya menganalisis salah satu *pile cap* yang menerima beban maksimal. Rencana awal tiang pancang dermaga yang akan dipasang memiliki diameter 60.96 cm dengan total panjang 32 m terdiri dari 7 m panjang dari *pile cap* hingga *seabed* dan 25 m dari *seabed* hingga ujung tiang seperti yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Panjang tiang pancang

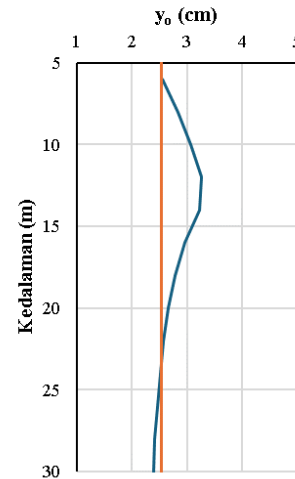
Analisis daya dukung aksial untuk mengetahui kemampuan tiang menahan gaya aksial dilakukan menggunakan Persamaan 11 dan analisis defleksi tiang menggunakan Persamaan 14. SNI 8460:2017 mensyaratkan faktor aman tiang pancang minimum 2,5 [11], namun penelitian ini menggunakan faktor aman 4 dalam menghitung daya dukung izin tiang. Adapun defleksi izin dalam penelitian ini adalah 1” atau 2,54 cm [11]. Hasil analisis daya dukung aksial dan defleksi tiang terdapat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

Hasil analisis pada Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan daya dukung izin tiang dengan faktor aman 4 dan defleksi pada kedalaman 25 m adalah 1.120 kN dan 2,46 cm. Meskipun daya dukung izin yang diperoleh jauh lebih besar dari beban aksial yang bekerja pada tiang, memperpendek kedalaman tiang atau memperkecil dimensi tidak dapat dilakukan karena defleksi tiang pada kedalaman <24 m telah melewati batas defleksi izin yang dipersyaratkan.



Gambar 7. Grafik Q_a vs kedalaman

Fondasi dermaga merupakan salah satu tipe fondasi yang banyak menerima gaya lateral [24]–[26]. Kondisi batimetri, pasang surut dan bobot kapal menjadi faktor yang mempengaruhi besarnya gaya lateral pada struktur dermaga. Desain dermaga yang harus memenuhi kriteria *draft* kapal, ditambah dengan kondisi batimetri menyebabkan elevasi *top pile* berada diatas *seabed* sehingga tiang pancang seperti balok kantilever yang menerima beban.



Gambar 8. Grafik y_0 vs kedalaman

Jenis pembebanan yang bekerja pada dermaga juga banyak dalam lateral seperti beban angin, beban gelombang, beban tumbukan kapal saat sandar, beban tarikan kapal saat tambat dan beban gempa juga berkontribusi pada besarnya gaya lateral yang terjadi pada dermaga [27]. Berdasarkan hasil analisis kondisi tanpa likuifaksi, kedalaman rencana tiang 25 m memenuhi kriteria desain yang dipersyaratkan. Namun, besarnya defleksi yang sangat mendekati batas yang dipersyaratkan akan sangat rentan melewati defleksi izin saat likuifaksi yang terjadi mengingat kedalaman lapisan yang berpotensi mengalami likuifaksi cukup dalam yakni 6 m.

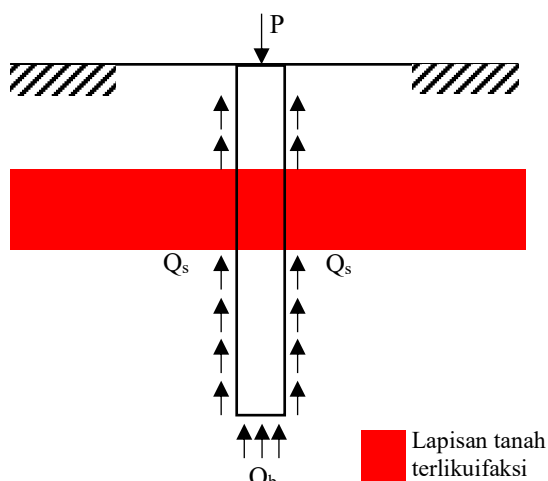
3.3. Analisis Fondasi Dengan Likuifaksi

Likuifaksi adalah keadaan dimana tanah kehilangan kuat gesernya akibat kenaikan tekanan air pori yang disebabkan oleh getaran yang sangat kuat seperti gempa bumi. Saat kenaikan tekanan air pori sama dengan tegangan totalnya maka tegangan efektif tanah akan mendekati nol sehingga tanah berperilaku seperti likuid. Dalam penelitian ini, likuifaksi dalam analisis daya dukung aksial disimplifikasi dengan menghilangkan tahanan gesek (Q_s) disepanjang tiang yang melewati lapisan terlikuifaksi seperti yang terlihat pada Gambar 9. Hilangnya gesekan akan sangat mempengaruhi besarnya daya dukung aksial tiang karena tahanan gesek memberikan sumbangsih sebesar 62 % dari daya dukung ultimate tiang.

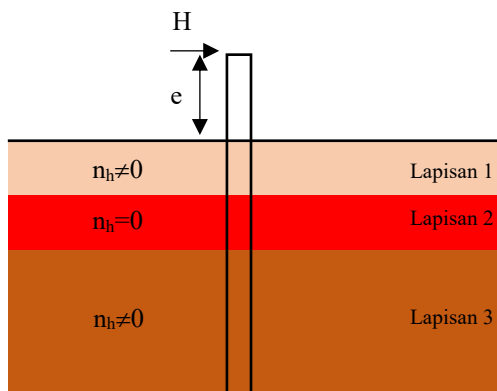
Jenis tanah pada analisis defleksi jenis tanah memberikan pengaruh dalam bentuk koefisien variasi modulus (n_h). Dalam analisis defleksi, nilai koefisien variasi modulus yang diambil adalah nilai rata-rata disepanjang tiang. Simplifikasi analisis defleksi pada kondisi likuifaksi dilakukan dengan mengasumsikan nilai koefisien variasi modulus adalah nol pada lapisan tanah yang mengalami likuifaksi seperti yang terlihat pada Gambar 10. Efek lateral *spreading* [28], [29] akibat likuifaksi tidak dianalisis dalam penelitian ini.

Hasil analisis daya dukung aksial dan defleksi tiang dengan likuifaksi terdapat pada Gambar 11 dan Gambar 12. Hasil analisis pada Gambar 11 menunjukkan terjadi penurunan daya dukung pada pada kedalaman tiang 25 m akibat likuifaksi. Saat terjadi likuifaksi tiang cenderung

mengalami penurunan akibat hilangnya tahanan selimut tiang selama likuifaksi. Hal ini dapat menurunkan daya dukung tiang hingga 38%-71% dan penurunan hingga 5 kali diameter tiang tergantung kedalaman lapisan yang terlikuifaksi [30], [31]. Hasil analisis menunjukkan penurunan yang tidak terlalu signifikan (3%). Hal ini disebabkan lapisan tanah yang terlikuifaksi tidak terlalu dalam sehingga menyebabkan pengurangan tahanan friksi tiang saat likuifaksi sebesar 3%. Disisi lain tahanan ujung tiang tidak mengalami perubahan akibat adanya likuifaksi karena nilai SPT yang mempengaruhi tahanan ujung adalah SPT yang berada disekitar tiang sehingga lapisan yang terlikuifaksi tidak memberikan pengaruh terhadap tahanan ujung tiang.

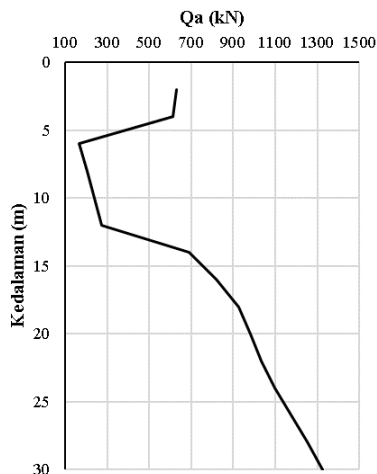


Gambar 9. Simplifikasi analisis daya dukung tanah terlikuifaksi

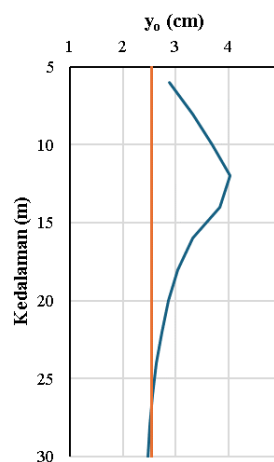


Gambar 10. Simplifikasi analisis defleksi tanah terlikuifaksi

Hasil analisis pada Gambar 12 menunjukkan pada kedalaman 25 m terjadi defleksi sebesar 2,61 cm yang telah melebihi defleksi izin yang dipersyaratkan. Analisis defleksi sangat dipengaruhi oleh nilai rata-rata koefisien variasi modulus (n_h) disepanjang tiang. Ketika terjadi likuifaksi nilai n_h diasumsikan menjadi nol sehingga menyebabkan terjadi penurunan nilai rata n_h disepanjang tiang hingga 10%. Penurunan nilai n_h menjadi penyebab peningkatan defleksi tiang. Pada Gambar 12 terlihat untuk memenuhi kriteria defleksi izin, tiang pancang perlu diperpanjang hingga kedalaman 28 m.



Gambar 11. Grafik Q_a vs kedalaman dengan likuifaksi



Gambar 12. Grafik y_o vs kedalaman dengan likuifaksi

Dengan metode *p-y curve* Kardogan, dkk. (2019) [32] memperoleh defleksi tiang pada kondisi likuifaksi lima kali lebih besar dibandingkan kondisi tidak terlikuifaksi. *p-y curve* merupakan salah satu metode analisis tahanan lateral tiang yang memodelkan tahanan tanah sebagai pegas [16]. Janalizadeh dan Zahmatkesh (2015) [33] dengan *centrifuge test* dan analisis numeris menemukan bahwa metode *p-y curves* merupakan metode yang tepat dalam memodelkan fondasi pada tanah terlikuifaksi.

Perbedaan hasil analisis dengan penelitian ini menunjukkan pentingnya menggunakan beberapa metode untuk analisis pengaruh likuifaksi terhadap daya dukung lateral tiang terutama pada bangunan yang menerima beban lateral cukup besar seperti dermaga. Penggunaan metode empiris seperti pada penelitian ini sebaiknya digunakan sebagai *preliminary* dan pembandingan pada analisis menggunakan metode yang lebih baik.

4. Kesimpulan

Analisis potensi likuifaksi menunjukkan bahwa lapisan pasir pada kedalaman 6-12 meter memiliki risiko tinggi untuk mengalami likuifaksi, terutama karena karakteristik tanah yang terdiri dari pasir lepas jenuh air dengan kandungan butiran kasar lebih dari 65% dan persentase butiran halus sebesar 15%. Selain itu, peningkatan nilai

percepatan puncak gempa (PGA) di wilayah Sulawesi yang melebihi 0,3g juga berkontribusi terhadap peningkatan potensi likuifaksi.

Analisis fondasi tanpa likuifaksi menunjukkan bahwa dimensi rencana tiang pancang dengan kedalaman 25 meter memenuhi kriteria desain yang dipersyaratkan. Namun, defleksi yang sangat mendekati batas yang diizinkan menunjukkan kerentanan terhadap kondisi likuifaksi, mengingat kedalaman lapisan yang berpotensi mengalami likuifaksi cukup dalam, yaitu 6 meter.

Dalam kondisi likuifaksi, analisis menunjukkan penurunan daya dukung aksial yang tidak signifikan (3%) pada kedalaman 25 meter. Namun, defleksi tiang meningkat melebihi batas yang diizinkan, menunjukkan bahwa likuifaksi mempengaruhi stabilitas lateral tiang pancang. Untuk memenuhi kriteria defleksi izin, tiang pancang perlu diperpanjang hingga kedalaman 28 meter.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memberikan rekomendasi bahwa untuk memastikan keamanan dan keberlanjutan operasional dermaga di daerah pesisir Kabupaten Kolaka, dimensi tiang pancang harus diperpanjang hingga kedalaman 28 meter untuk mengantisipasi risiko likuifaksi.

Daftar Pustaka

- [1] R. Akbar, A.B. Buchori, Sriyana, and H. Nugroho, "Perencanaan Pengembangan Dermaga Kartini Jepara", *Jurnal Karya Teknik Sipil*, vol. 6, no. 4, p. 95, 2017,
- [2] E. Sution, Y. Prianto, I.R.H. Putra, and L.A.B. Gea, "Muara Angke Sebagai Penopang Wisata Pesisir di Kepulauan Seribu", *Jurnal Serina Sosial Humaniora*, vol. 1, no. 2, p. 169, 2023.
- [3] B.M. Das and G.V. Ramana, *Principle of Soil Dynamics*, Stamford: Cengage Learning, 2011.
- [4] Y. Litha, *Fenomena Likuifaksi, Ratusan Rumah di Petobo Tenggelam*, Jakarta: VOA Indonesia, 2018.
- [5] H. Setiawan and S. Kurniawan, "Karakteristik Tanah Terdampak dan Tidak Terdampak Likuifaksi Berdasarkan Uji Swedish Weight Sounding Pada Kelurahan Petobo", *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 13, no. 1, p. 1, 2021.
- [6] T.L. Youd and I.M. Idriss, "Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report From the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 127, no. 4, p. 297, 2001.
- [7] J.L. Briaud, L. Tucker, R. L. Lytton, and H.M. Coyle, *Behaviour of Piles and Pile Groups in Cohesionless Soils, Report No. FHWA/RD-83/038*. Washington: FHWA, 1985.
- [8] B.B. Broms, "Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soils", *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, vol. 90, no. 3, p. 123, 1964.
- [9] BPS, *Kecamatan Wolo Dalam Angka 2023*, Kolaka: Badan Pusat Statistik Kabupaten Kolaka, 2023.
- [10] H.B. Seed and I.M. Idriss, "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, vol. 97, no. 9, p. 1249, 1971.
- [11] BSN, *SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2017.
- [12] S.S.C. Liao and R.V. Whitman, *Catalogue of A Liquefaction and Non-Liquefaction Occurrences During Earthquakes*, Cambridge: Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 1986.
- [13] BSN, *SNI 4153:2019 Metode Uji Penetrasi Standar (SPT) dan Pengambilan Contoh Tanah dengan Tabung Belah*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2019.
- [14] BSN, *SNI 3423:2008 Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2018.
- [15] P.K. Robertson and C.E. Wride, "Cyclic Liquefaction and Its Evaluation Based on the SPT and CPT", *Proceeding of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*, p. 41, 1997.
- [16] H.C. Hardiyatmo, *Analisis dan Perancangan Fondasi II*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2015.
- [17] B.M. Das, *Principles of Foundation Engineering*, Stamford: Cengage Learning, 2007.
- [18] J.E. Bowles, *Foundation Analysis and Design*, Singapore: The McGraw-Hill Companies, Inc., 1996.
- [19] BSN, *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2019.
- [20] A. Hakam and E. Suhelmidawati, "Liquefaction Due to September 30th 2009 Earthquake in Padang", *Procedia Engineering*, vol. 54, p. 140, 2013.
- [21] W. Wen-shao, "Some Findings in Soil Liquefaction", *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 2, no. 3, p. 55, 1980.
- [22] S. Toprak and T.L. Holzer, "Liquefaction Potential Index: Field Assessment", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 129, no. 4, p. 315, 2003.
- [23] C.V. Sanjaya Karya, *Laporan Perhitungan Struktur Dermaga*, Kendari: Dinas Pekerjaan Umum, 2020.
- [24] S. Kawengian, S. Balamba, and A.N. Sarajar, "Analisis Daya Dukung Lateral pada Tiang Pancang Kelompok di Dermaga Belang", *Jurnal Sipil Statik*, vol. 6, no. 9, p. 683, 2018.
- [25] D. Oktaferdian and S. Leman, "Analisis Kinerja Tiang

- Dengan Variasi Kemiringan di Dermaga 'SJ' Bandar Lampung”, *MTS: Jurnal Mitra Teknik Sipi*, vol. 4, no. 4, p. 823, 2021.
- [26] A. Minmahddun, “Analisis Daya Dukung Aksial dan Defleksi Tiang Pancang Dermaga”, *Media Konstruksi*, vol. 7, no. 1, p. 1, 2022.
- [27] B. Triatmodjo, *Perencanaan Pelabuhan*, Yogyakarta: Beta Offset, 2016.
- [28] S.F. Bartlett and T.L. Youd, “Empirical Prediction of Liquefaction-Induced Lateral Spread”, *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 121, no. 4, p. 316, 1995.
- [29] T. Abdoun, R. Dobry, T.D.O'Rourke, and S.H. Goh, “Pile Response to Lateral Spreads: Centrifuge Modeling”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental engineering*, vol. 129, no. 10, p. 869, 2003.
- [30] J.A. Knappett and S.P.G. Madabhushi, “Seismic Bearing Capacity of Piles in Liquefiable Soils”, *Soils Foundation*, vol. 49, no. 4, p. 525, 2009.
- [31] I.M.W. Pramana and S.N. Fitri, “The Decrease of the Bearing Capacity of Single Pile Foundation During Earthquake on Liquefiable Soil (Study Case: Birobuli Area, South Palu)”, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1314, no. 1, p. 1, 2024.
- [32] P.S.O. Kardogan, N.S. Isik, M.I. Onur, and S. Bhattacharya, “A Study on the Laterally Loaded Pile Behaviour in Liquefied Soil Using P-Y Method”, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 471, p. 1, 2019.
- [33] A. Janalizadeh and A. Zahmatkesh, “Lateral Response of Pile Foundations in Liquefiable Soils”, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. 7, no. 5, p. 532, 2015.