

ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI DAN CYCLIC MOBILITY AKIBAT GEMPA BUMI DI TANGERANG SELATAN DAN WAKATOBI

Jonathan^{1*}, Aniek Prihatiningsih¹, dan Sunarjo Leman¹

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1, Jakarta, Indonesia
*jonathan28.works@gmail.com

Masuk: 01-07-2025, revisi: 07-07-2025, diterima untuk diterbitkan: 31-07-2025

ABSTRACT

Indonesia has a high potential for natural disasters due to its geological and geographical factors, such as tectonic activity at the convergence of three major world plates and the presence of many active volcanoes. The country's high vulnerability to earthquakes also makes it prone to liquefaction and cyclic mobility, which can trigger ground settlement and structural damage. This research aims to expand understanding of liquefaction and cyclic mobility potential in South Tangerang and Wakatobi based on soil types and earthquake magnitudes. Two types of analysis were conducted. The cyclic stress method analysis compares cyclic resistance ratio (CRR) and cyclic stress ratio (CSR) using Idriss-Boulanger, Youd-Idriss, Seed et al., and Tokimatsu-Yoshimi methods. The Tsuchida (1970) method maps grain size distribution test data into curves with boundaries indicating susceptibility to liquefaction and cyclic mobility. Soil is considered to have potential for liquefaction and cyclic mobility if the majority of analysis methods confirm this potential. The results show that Wakatobi has a higher potential for liquefaction and cyclic mobility compared to South Tangerang, with susceptible soil layers reaching depths up to 24 meters. This is due to lower N-SPT values and shallow groundwater levels, increasing vulnerability during earthquakes.

Keywords: liquefaction; cyclic mobility; cyclic resistance ratio (CRR); cyclic stress ratio (CSR); grain size distribution

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara dengan potensi bencana alam yang tinggi akibat faktor geologis dan geografis, seperti aktivitas tektonik di pertemuan tiga lempeng dunia serta keberadaan banyak gunung api aktif. Hal tersebut menyebabkan Indonesia berpotensi mengalami likuifaksi dan *cyclic mobility* yang dapat memicu penurunan tanah dan kerusakan struktur. Penelitian ini bertujuan untuk memperluas pemahaman tentang potensi likuifaksi dan *cyclic mobility* pada tanah di Tangerang Selatan dan Wakatobi berdasarkan jenis tanah dan skala kekuatan gempa. Penelitian menggunakan dua jenis analisis. Analisis *cyclic stress method* membandingkan nilai *cyclic resistance ratio* (CRR) dan *cyclic stress ratio* (CSR) menggunakan metode Idriss-Boulanger, Youd-Idriss, Seed et al., serta Tokimatsu-Yoshimi. Analisis menggunakan metode Tsuchida memetakan data uji distribusi ukuran butir tanah ke dalam bentuk kurva dengan batas-batas distribusi yang rentan mengalami likuifaksi dan *cyclic mobility*. Tanah dianggap berpotensi mengalami likuifaksi dan *cyclic mobility* apabila mayoritas dari metode analisis mengkonfirmasi potensi tersebut. Hasil analisis menunjukkan bahwa tanah di Wakatobi memiliki potensi likuifaksi dan *cyclic mobility* yang lebih besar dibandingkan Tangerang Selatan, dengan rentang lapisan tanah rentan hingga kedalaman 24 meter. Hal ini disebabkan oleh nilai N-SPT yang lebih kecil dan elevasi muka air tanah yang dangkal, sehingga lebih rentan mengalami likuifaksi dan *cyclic mobility* saat terjadi gempa bumi.

Kata kunci: likuifaksi; *cyclic mobility*; *cyclic resistance ratio* (CRR); *cyclic stress ratio* (CSR); distribusi ukuran butir tanah

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara dengan tingkat potensi bencana alam yang cukup tinggi (Ismana et al., 2022). Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor geologis dan geografis yang saling terkait. Yang pertama adalah kerawanan terhadap aktivitas tektonik akibat posisi geografis Indonesia yang terletak di antara pertemuan tiga buah lempeng dunia, yaitu lempeng Pasifik, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Eurasia (Imelda et al., 2024). wilayah dengan aktivitas vulkanik yang intens dan keberadaan banyak gunung api aktif (Sahulata, 2024). Selain itu, pulau-pulau di Indonesia seperti pulau Jawa dan Sumatra termasuk ke dalam area yang dilewati oleh *Alpine Belt* yang merupakan jalur gempa bumi teraktif kedua di dunia (Dyah & Prasojo, 2020). Kondisi ini membuat Indonesia rentan terhadap bencana alam, khususnya letusan gunung api dan gempa bumi (Pakuani & Kurniawan, 2021). Tidak hanya itu, keragaman proses geologi dan aktivitas vulkanik yang terjadi turut membentuk karakteristik tanah yang sangat beragam di Indonesia,

mulai dari tanah vulkanik yang subur di daerah pegunungan hingga tanah aluvial di daerah dataran rendah (Lokananta & Susilo, 2018).

Kerentanan yang tinggi terhadap gempa bumi menyebabkan Indonesia berpotensi tinggi untuk mengalami likuifaksi (Markus & Kawanda, 2020). Jika suatu daerah memiliki potensi likuifaksi, maka daerah tersebut juga berisiko mengalami penurunan tanah (Ambarwati et al., 2020). Kondisi ini terjadi karena tanah dan fondasi tiang yang menopang beban struktur di atasnya mengalami penurunan kemampuan dukung (Pramana et al., 2023). Tekanan air pori yang berlebihan di lapisan dasar fondasi menyebabkan kapasitas tiang menurun, sehingga berpotensi menimbulkan penurunan tanah yang signifikan dan dapat merusak struktur bangunan (Macedo & Bray, 2018).

Fenomena likuifaksi sudah bukan merupakan hal yang baru di Indonesia. Salah satu kejadian likuifaksi yang pernah terjadi di Indonesia adalah peristiwa di Palu, Sulawesi Tengah. Peristiwa gempa bumi dengan kekuatan 7,7 SR yang mengguncang Palu pada 28 September 2018 tersebut mengakibatkan lebih dari 1.500 korban jiwa serta sekitar 1.000 orang lainnya yang diperkirakan tertimbun material (Sanusi, 2018). Selain menimbulkan korban jiwa, likuifaksi juga berdampak pada kerusakan jalan yang mencapai 83,7% serta kerusakan bangunan dari tingkat ringan hingga berat yang hampir mencapai 99,68% (Sainuddin, 2022). Fenomena ini menunjukkan bahwa likuifaksi merupakan ancaman nyata yang tidak bisa diabaikan dalam upaya mitigasi bencana di Indonesia.

Fenomena likuifaksi masih kurang diperhatikan dalam kajian kegempaan di Indonesia (Fernando & Prihatiningsih, 2019), terutama karena keterbatasan pengetahuan dan data yang tersedia. Akibatnya, pemahaman terkait potensi kerusakan dan dampak pada struktur bangunan menjadi terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memperluas pengetahuan tentang potensi likuifaksi dan *cyclic mobility* pada tanah. Dengan membandingkan potensi likuifaksi dan *cyclic mobility* di Tangerang Selatan dan Wakatobi berdasarkan pertimbangan sebaran jenis tanah dan skala kekuatan gempa, diharapkan dapat memperkaya data penelitian likuifaksi di Indonesia sehingga dapat dikembangkan metode penilaian risiko yang lebih akurat.

Likuifaksi

Likuifaksi adalah kondisi di mana tanah non-kohesif dalam kondisi jenuh mengalami kehilangan daya dukung dan mengalami perubahan perilaku dari padat menjadi cair (Saputra & Susanto, 2023). Fenomena ini terjadi ketika tanah jenuh mengalami kenaikan tekanan pori secara drastis akibat getaran gempa, hingga tekanan tersebut mendekati atau melampaui tegangan vertikal efektif yang menahan butiran tanah (Lestari, 2018). Gempa bumi yang terjadi dalam waktu singkat menyebabkan tegangan air pori tidak memiliki cukup waktu untuk terdisipasi secara alami, membuat tanah mengalami pelunakan dan kehilangan kuat geser (Chung et al., 2011). Kehilangan kuat geser pada tanah dapat menyebabkan daya dukung dari tanah kepada fondasi menurun dalam waktu singkat (Badan Standarisasi Nasional, 2017).

Cyclic mobility

Awalnya, penelitian mengungkapkan bahwa likuifaksi hanya terjadi pada tanah berpasir, namun ternyata tanah kohesif juga dapat mengalami likuifaksi (Fernando & Prihatiningsih, 2019). Fenomena ini dikenal sebagai *cyclic mobility*. *Cyclic mobility* merupakan jenis likuifaksi yang terjadi ketika tanah menerima beban berulang atau siklik (Chrisandy & Susilo, 2023). Berbeda dengan likuifaksi yang mengakibatkan hilangnya seluruh tegangan efektif tanah, pada *cyclic mobility* tegangan efektif tanah masih bernilai positif. Namun demikian, tanah tetap mengalami deformasi berupa pelebaran atau pergeseran lateral saat gempa terjadi.

Analisis *cyclic stress approach*

Analisis potensi likuifaksi dan *cyclic mobility* penting dilakukan untuk menilai kerentanan tanah terhadap kehilangan kekuatan geser akibat gempa bumi, yang berpotensi menimbulkan kerusakan pada struktur bangunan di atasnya. Dalam penelitian ini, digunakan dua jenis analisis. Analisis yang pertama adalah *cyclic stress approach*. Analisis *cyclic stress approach* memiliki kelebihan karena memberikan penilaian kuantitatif yang detail dan faktor keamanan yang jelas dengan mempertimbangkan pengaruh magnitudo gempa, tegangan tanah, dan koreksi N-SPT, sehingga hasilnya representatif untuk kondisi lapangan dan dapat digunakan dalam perencanaan. Namun, kekurangannya adalah perhitungannya cukup kompleks dan membutuhkan banyak data *input* yang akurat, serta umumnya hanya sesuai untuk tanah pasir jenuh sehingga kurang tepat diterapkan pada tanah kohesif tanpa kalibrasi tambahan.

Potensi likuifaksi ditentukan berdasarkan nilai *factor of safety* (FS). Nilai ini diperoleh dengan membandingkan nilai *cyclic resistance ratio* (CRR) dengan nilai *cyclic stress ratio* (CSR), seperti yang ditampilkan pada Persamaan 1. Metode yang menggunakan perbandingan nilai CSR dan CRR dalam penelitian ini adalah Idriss-Boulanger (2008), Youd-Idriss (2001), Seed et al. (1985), serta Tokimatsu-Yoshimi (1983).

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (1)$$

Dengan FS = factor of safety, CRR = cyclic resistance ratio, dan CSR = cyclic stress ratio.

Tanah berpotensi mengalami likuifaksi ketika nilai $FS \leq 1$. Sebaliknya, jika nilai $FS > 1$, tanah tidak berpotensi mengalami likuifaksi.

1. Idriss-Boulanger (2008)

Perhitungan menggunakan persamaan Idriss-Boulanger dapat dilihat pada Persamaan 2 dan Persamaan 3.

$$CRR = e^{\left[\left(\frac{(N_1)_{60CS}}{14,1} \right) + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{126} \right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{23,6} \right)^3 - \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{25,4} \right)^4 - 2,8 \right]} \quad (2)$$

$$CSR = 0,65 \times r_d \times \frac{a_{max}}{g} \times \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \times \frac{1}{MSF} \times \frac{1}{K_\sigma} \quad (3)$$

Dengan e = bilangan euler ($\approx 2,7183$), $(N_1)_{60CS}$ = nilai N-SPT yang terkoreksi nilai tegangan *overburden*, energi pemukul, dan kandungan butiran halus tanah, r_d = faktor reduksi tegangan, $\frac{a_{max}}{g}$ = percepatan maksimum gempa (m/s^2), σ_v = tegangan total tanah (kN/m^2), σ'_v = tegangan efektif tanah (kN/m^2), MSF = faktor skala magnitudo gempa, dan K_σ = tekanan *overburden* (kN/m^2).

2. Youd-Idriss (2001)

Perhitungan menggunakan persamaan Youd-Idriss dapat dilihat pada Persamaan 4, Persamaan 5, Persamaan 6, dan Persamaan 7.

$$CRR = MSF \times CRR_{7,5} \quad (4)$$

$$MSF = \frac{10^{2,24}}{M_w^{2,56}} \quad (5)$$

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60CS}} + \frac{(N_1)_{60CS}}{135} + \frac{50}{[10 \times ((N_1)_{60CS}) + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (6)$$

$$CSR = 0,65 \times \frac{a_{max} \times \sigma_v}{g \times \sigma'_v} \times r_d \quad (7)$$

Dengan $CRR_{7,5}$ = cyclic resistance ratio pada magnitudo gempa 7,5.

3. Tokimatsu-Yoshimi (1983)

Perhitungan menggunakan persamaan Tokimatsu-Yoshimi dapat dilihat pada Persamaan 8 dan Persamaan 9.

$$CRR = 0,45 \times 0,57 \times \left[\frac{16\sqrt{N_a}}{100} + \left(\frac{16\sqrt{N_a}}{C_s} \right)^{14} \right] \quad (8)$$

$$CSR = 0,1(M_w - 1) \times \frac{a_{max} \times \sigma_v}{g \times \sigma'_v} \times r_d \quad (9)$$

Dengan N_a = nilai N-SPT yang terkoreksi nilai tegangan *overburden*, energi pemukul, dan kandungan butiran halus tanah.

4. Seed et al. (1985)

Perhitungan menggunakan persamaan Seed et al. dapat dilihat pada Persamaan 10, Persamaan 11, Persamaan 12, dan Persamaan 13.

$$CRR = MSF \times CRR_{7,5} \quad (10)$$

$$MSF = \frac{10^{2,24}}{M_w^{2,56}} \quad (11)$$

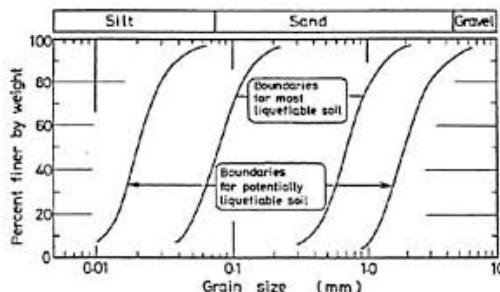
$$CRR_{7,5} = \frac{0,048 + (-4,721 \times 10^{-3}) \times ((N_1)_{60CS}) + 6,136 \times 10^{-4} + (-1,673 \times 10^{-5})}{1 - 0,1248 \times ((N_1)_{60CS}) + 9,578 \times 10^{-3} \times ((N_1)_{60CS})^2 - 3,258 \times 10^{-4} \times ((N_1)_{60CS})^3 + 3,714 \times 10^{-6} \times ((N_1)_{60CS})^4} \quad (12)$$

$$CSR = 0,65 \times \frac{a_{max} \times \sigma_v}{g \times \sigma'_v} \times r_d \quad (13)$$

Metode Tsuchida

Analisis kedua menggunakan data distribusi ukuran butir tanah hasil uji *grain size distribution* menggunakan metode Tsuchida (1970). Analisis dilakukan dengan memetakan data hasil uji ke dalam bentuk kurva dengan batas-batas

distribusi yang rentan mengalami likuifaksi. Apabila ada kurva yang jatuh di dalam batas tersebut, maka tanah berpotensi mengalami likuifaksi dan *cyclic mobility*. Kurva metode Tsuchida (1970) dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Analisis potensi likuifaksi metode Tsuchida (1970) (Prayitno & Artati, 2021)

2. METODE PENELITIAN

Pengumpulan data

Dalam penelitian ini, data hasil pengujian yang digunakan berupa hasil uji N-SPT (*Standard Penetration Test*), dan hasil uji laboratorium. Tanah yang digunakan dalam pengujian berasal dari daerah Tangerang Selatan dan Wakatobi. Data ini akan diolah untuk mendapatkan parameter tanah yang diperlukan dalam perhitungan.

Metode analisis

Hal pertama yang perlu dilakukan untuk melakukan analisis *cyclic stress approach* adalah menentukan nilai berat jenis tanah dalam kondisi basah (γ_{wet}) dan kondisi jenuh (γ_{sat}), serta kedalaman muka air tanah. Hal ini diperlukan untuk memperoleh data tegangan total (σ_v) dan tegangan efektif (σ'_v) yang diperlukan dalam perhitungan. Data N-SPT dan tegangan tanah yang sudah diperoleh kemudian dianalisis menggunakan persamaan Idriss-Boulanger, Youd-Idriss, Seed et al., serta Tokimatsu-Yoshimi untuk menentukan potensi likuifaksi dan *cyclic mobility* setiap lapisan tanah.

Dalam menganalisis potensi likuifaksi dan *cyclic mobility* dengan menggunakan metode Tsuchida, diperlukan data distribusi ukuran butiran tanah pada beberapa lapisan kedalaman. Data ini kemudian diplot pada kurva Tsuchida dengan skala logaritmik. Jika data distribusi pada rentang kedalaman tertentu berada dalam batas area yang ditetapkan pada kurva Tsuchida, maka tanah pada kedalaman tersebut dianggap berpotensi mengalami likuifaksi dan *cyclic mobility*.

Hasil analisis seluruh metode kemudian dirangkum untuk menentukan lapisan tanah yang mengalami likuifaksi dan *cyclic mobility*. Tanah dianggap mengalami likuifaksi dan *cyclic mobility* apabila setidaknya tiga dari lima metode analisis mengkonfirmasi potensi terjadinya likuifaksi dan *cyclic mobility*.

Batasan masalah

Batasan-batasan masalah yang ditetapkan untuk penelitian ini berupa:

- Nilai magnitudo gempa (M_w) yang digunakan dalam analisis adalah 7,5;
- Nilai percepatan gempa maksimum yang digunakan adalah 0.3024 untuk daerah Wakatobi dan 0.4120 untuk daerah Tangerang Selatan;
- Nilai efisiensi alat bor yang digunakan dalam penelitian sebesar 60%.

Parameter tanah desain

Parameter tanah yang digunakan dalam perhitungan untuk daerah Wakatobi dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan untuk daerah Tangerang Selatan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Parameter tanah daerah Wakatobi

| Elevasi (m) | Kondisi Tanah | Jenis Tanah | N-SPT | Konsistensi | γ_{wet} (kN/m ³) | γ_{sat} (kN/m ³) |
|-------------|---------------|-------------|-------|--------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 0 – 2 | Tidak jenuh | Pasir | 1 | Sangat lepas | 13 | 14 |
| 2 – 2,5 | Tidak jenuh | Pasir | 1 | Sangat lepas | 13 | 14 |
| 2,5 – 4 | Jenuh | Pasir | 1 | Sangat lepas | 13 | 14 |
| 4 – 6 | Jenuh | Pasir | 1 | Sangat lepas | 13 | 14 |
| 6 – 8 | Jenuh | Pasir | 1 | Sangat lepas | 13 | 14 |
| 8 – 10 | Jenuh | Pasir | 1 | Sangat lepas | 13 | 14 |
| 10 – 12 | Jenuh | Pasir | 1 | Sangat lepas | 13 | 14 |
| 12 - 14 | Jenuh | Pasir | 3 | Sangat lepas | 13 | 14 |
| 14 – 16 | Jenuh | Pasir | 4 | Sangat lepas | 13 | 14 |
| 16 – 18 | Jenuh | Pasir | 4 | Sangat lepas | 13 | 14 |
| 18 – 20 | Jenuh | Pasir | 6 | Lepas | 15 | 16 |
| 20 – 22 | Jenuh | Pasir | 7 | Lepas | 15 | 16 |
| 22 – 24 | Jenuh | Pasir | 12 | Menengah | 15 | 16 |
| 24 – 26 | Jenuh | Batu | 60 | Sangat padat | 22,5 | 23,5 |
| 26 – 28 | Jenuh | Batu | 60 | Sangat padat | 22,5 | 23,5 |
| 28 - 30 | Jenuh | Batu | 60 | Sangat padat | 22,5 | 23,5 |

Tabel 2. Parameter tanah daerah Tangerang Selatan

| Elevasi (m) | Kondisi Tanah | Jenis Tanah | N-SPT | Konsistensi | γ_{wet} (kN/m ³) | γ_{sat} (kN/m ³) |
|-------------|---------------|-------------|-------|--------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 0 – 2 | Tidak jenuh | Lempung | 6 | Menengah | 15 | 16 |
| 2 – 4 | Jenuh | Lempung | 8 | Menengah | 15 | 16 |
| 4 – 6 | Jenuh | Lempung | 12 | Keras | 15 | 16 |
| 6 – 8 | Jenuh | Lempung | 4 | Lunak | 15 | 16 |
| 8 – 10 | Jenuh | Lempung | 8 | Menengah | 15 | 16 |
| 10 – 12 | Jenuh | Lanau | 17 | Sangat keras | 16 | 17 |
| 12 – 14 | Jenuh | Lanau | 8 | Menengah | 16 | 17 |
| 14 – 15 | Jenuh | Lanau | 9 | Menengah | 16 | 17 |
| 15 – 16 | Jenuh | Pasir | 9 | Lepas | 18 | 19 |
| 16 – 18 | Jenuh | Pasir | 21 | Menengah | 18 | 19 |
| 18 – 20 | Jenuh | Pasir | 27 | Menengah | 18 | 19 |
| 20 – 22 | Jenuh | Pasir | 50 | Sangat padat | 22,5 | 23,5 |
| 22 – 24 | Jenuh | Lanau | 38 | Sangat keras | 20,5 | 21,5 |
| 24 – 26 | Jenuh | Pasir | 50 | Sangat padat | 21 | 22 |
| 26 – 28 | Jenuh | Pasir | 31 | Padat | 21 | 22 |
| 28 – 30 | Jenuh | Lempung | 33 | Keras | 20 | 21 |

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis potensi likuifaksi dan *cyclic mobility*

Hasil analisis potensi likuifaksi dan *cyclic mobility* dengan *cyclic stress approach* pada daerah Wakatobi dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4, sedangkan untuk daerah Tangerang Selatan dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6. Berdasarkan nilai FS maka dapatkan kesimpulan potensi likuifaksi per lapisan tanah. Hasil analisis potensi likuifaksi menggunakan metode Tsuchida (1970) pada daerah Wakatobi dapat dilihat pada Gambar 2, sedangkan untuk daerah Tangerang Selatan dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 3. Hasil analisis potensi likuifaksi dengan *cyclic stress approach* pada daerah Wakatobi

| Elevasi (m) | Metode | | | Youd-Idriss | | |
|----------------|------------------|------|-------|-------------|------|------|
| | Idriss-Boulanger | | | CRR | CSR | FS |
| 0 – 1 | 0,09 | 0,14 | 0,67 | 0,05 | 0,20 | 0,26 |
| 1 – 2 | 0,09 | 0,14 | 0,66 | 0,05 | 0,20 | 0,26 |
| 2 – 2,5 | 0,09 | 0,14 | 0,65 | 0,05 | 0,20 | 0,26 |
| 2,5 – 3 | 0,09 | 0,17 | 0,57 | 0,05 | 0,22 | 0,23 |
| 3 – 4 | 0,09 | 0,20 | 0,47 | 0,05 | 0,27 | 0,19 |
| 4 – 5 | 0,09 | 0,23 | 0,40 | 0,05 | 0,31 | 0,16 |
| 5 – 6 | 0,09 | 0,25 | 0,36 | 0,05 | 0,34 | 0,15 |
| 6 – 7 | 0,09 | 0,28 | 0,33 | 0,05 | 0,36 | 0,14 |
| 7 – 8 | 0,09 | 0,29 | 0,31 | 0,05 | 0,39 | 0,13 |
| 8 – 9 | 0,09 | 0,31 | 0,30 | 0,05 | 0,40 | 0,12 |
| 9 – 10 | 0,09 | 0,32 | 0,28 | 0,05 | 0,39 | 0,13 |
| 10 – 11 | 0,09 | 0,33 | 0,27 | 0,05 | 0,39 | 0,13 |
| 11 – 12 | 0,09 | 0,35 | 0,26 | 0,05 | 0,39 | 0,13 |
| 12 – 13 | 0,11 | 0,35 | 0,30 | 0,06 | 0,39 | 0,16 |
| 13 – 14 | 0,10 | 0,36 | 0,29 | 0,06 | 0,38 | 0,16 |
| 14 – 15 | 0,11 | 0,37 | 0,30 | 0,07 | 0,38 | 0,18 |
| 15 – 16 | 0,11 | 0,38 | 0,29 | 0,07 | 0,37 | 0,19 |
| 16 – 17 | 0,11 | 0,39 | 0,28 | 0,07 | 0,36 | 0,19 |
| 17 – 18 | 0,11 | 0,39 | 0,28 | 0,07 | 0,35 | 0,19 |
| 18 – 19 | 0,12 | 0,39 | 0,31 | 0,08 | 0,34 | 0,24 |
| 19 – 20 | 0,12 | 0,39 | 0,31 | 0,08 | 0,33 | 0,25 |
| 20 – 21 | 0,13 | 0,40 | 0,32 | 0,09 | 0,31 | 0,28 |
| 21 – 22 | 0,12 | 0,40 | 0,31 | 0,09 | 0,30 | 0,29 |
| 22 – 23 | 0,16 | 0,40 | 0,39 | 0,13 | 0,29 | 0,44 |
| 23 – 24 | 0,16 | 0,40 | 0,39 | 0,12 | 0,28 | 0,45 |
| 24 – 25 | 14066 | 0,43 | 32701 | 0,34 | 0,27 | 1,28 |
| 25 – 26 | 2320 | 0,43 | 5372 | 0,31 | 0,26 | 1,22 |
| 26 – 27 | 576,85 | 0,43 | 1328 | 0,29 | 0,25 | 1,16 |
| 27 – 28 | 192,60 | 0,44 | 440,1 | 0,26 | 0,24 | 1,09 |
| 28 – 29 | 79,91 | 0,44 | 181,1 | 0,23 | 0,23 | 0,99 |
| 29 – 30 | 39,04 | 0,45 | 87,63 | 0,20 | 0,22 | 0,88 |

Tabel 4. Hasil analisis potensi likuifaksi dengan *cyclic stress approach* pada daerah Wakatobi

| Elevasi (m) | Metode | | | Tokimatsu-Yoshimi | | |
|----------------|-------------|------|------|-------------------|------|------|
| | Seed et al. | | | CRR | CSR | FS |
| 0 – 1 | 0,05 | 0,20 | 0,25 | 0,11 | 0,20 | 0,55 |
| 1 – 2 | 0,05 | 0,20 | 0,25 | 0,11 | 0,19 | 0,55 |
| 2 – 2,5 | 0,05 | 0,20 | 0,25 | 0,11 | 0,19 | 0,56 |
| 2,5 – 3 | 0,05 | 0,22 | 0,22 | 0,11 | 0,22 | 0,49 |
| 3 – 4 | 0,05 | 0,27 | 0,18 | 0,11 | 0,26 | 0,41 |
| 4 – 5 | 0,05 | 0,31 | 0,16 | 0,11 | 0,29 | 0,37 |
| 5 – 6 | 0,05 | 0,34 | 0,15 | 0,11 | 0,31 | 0,34 |
| 6 – 7 | 0,05 | 0,36 | 0,14 | 0,11 | 0,33 | 0,32 |
| 7 – 8 | 0,05 | 0,39 | 0,13 | 0,11 | 0,34 | 0,31 |
| 8 – 9 | 0,05 | 0,40 | 0,12 | 0,11 | 0,35 | 0,30 |
| 9 – 10 | 0,05 | 0,39 | 0,13 | 0,11 | 0,36 | 0,29 |
| 10 – 11 | 0,05 | 0,39 | 0,13 | 0,11 | 0,37 | 0,29 |
| 11 – 12 | 0,05 | 0,39 | 0,13 | 0,11 | 0,37 | 0,29 |
| 12 – 13 | 0,05 | 0,39 | 0,12 | 0,12 | 0,37 | 0,31 |
| 13 – 14 | 0,05 | 0,38 | 0,12 | 0,12 | 0,38 | 0,31 |
| 14 – 15 | 0,04 | 0,38 | 0,12 | 0,12 | 0,38 | 0,32 |
| 15 – 16 | 0,04 | 0,37 | 0,12 | 0,12 | 0,37 | 0,32 |

Tabel 4 (lanjutan). Hasil analisis potensi likuifaksi dengan *cyclic stress approach* pada daerah Wakatobi (lanjutan)

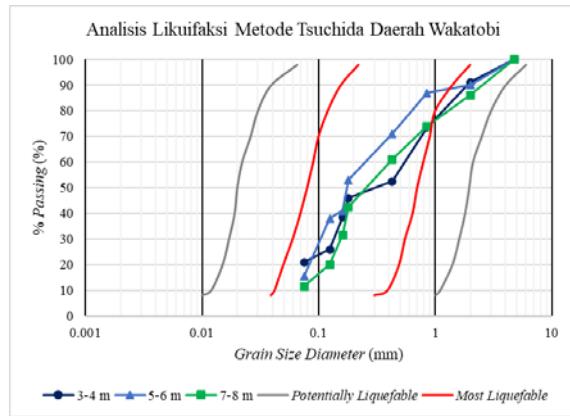
| Elevasi (m) | Metode | | | Tokimatsu-Yoshimi | | |
|----------------|-------------|------|------|-------------------|------|-------|
| | Seed et al. | CSR | FS | CRR | CSR | FS |
| 16 – 17 | 0,05 | 0,36 | 0,12 | 0,12 | 0,37 | 0,32 |
| 17 – 18 | 0,05 | 0,35 | 0,13 | 0,12 | 0,37 | 0,33 |
| 18 – 19 | 0,04 | 0,34 | 0,11 | 0,13 | 0,36 | 0,36 |
| 19 – 20 | 0,04 | 0,33 | 0,11 | 0,13 | 0,35 | 0,37 |
| 20 – 21 | 0,03 | 0,31 | 0,10 | 0,13 | 0,35 | 0,39 |
| 21 – 22 | 0,03 | 0,30 | 0,11 | 0,13 | 0,34 | 0,39 |
| 22 – 23 | 0,01 | 0,29 | 0,05 | 0,15 | 0,33 | 0,46 |
| 23 – 24 | 0,01 | 0,28 | 0,04 | 0,15 | 0,32 | 0,47 |
| 24 – 25 | 0,09 | 0,27 | 0,36 | 5,65 | 0,31 | 18,43 |
| 25 – 26 | 0,13 | 0,26 | 0,53 | 5,65 | 0,29 | 19,37 |
| 26 – 27 | 0,19 | 0,25 | 0,79 | 5,65 | 0,28 | 20,30 |
| 27 – 28 | 0,29 | 0,24 | 1,21 | 5,65 | 0,27 | 21,23 |
| 28 – 29 | 0,44 | 0,23 | 1,91 | 5,65 | 0,26 | 22,16 |
| 29 – 30 | 0,71 | 0,22 | 3,20 | 5,65 | 0,24 | 23,11 |

Tabel 5. Hasil analisis potensi likuifaksi dengan *cyclic stress approach* pada daerah Tangerang Selatan

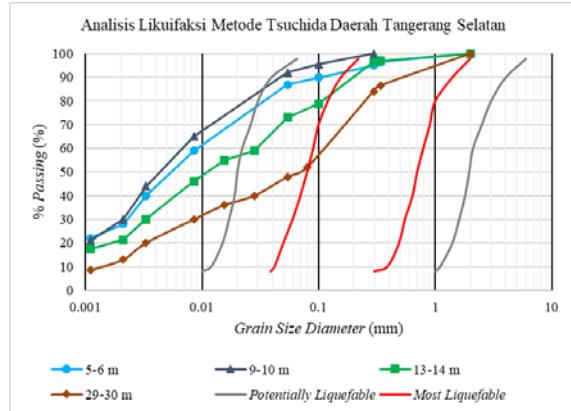
| Elevasi (m) | Metode | | | Youd-Idriss | | |
|----------------|------------------|------|------|-------------|------|-------|
| | Idriss-Boulanger | CSR | FS | CRR | CSR | FS |
| 0 – 1 | 0,16 | 0,19 | 0,85 | 0,18 | 0,27 | 0,67 |
| 1 – 2 | 0,16 | 0,19 | 0,85 | 0,17 | 0,27 | 0,62 |
| 2 – 3 | 0,20 | 0,25 | 0,80 | 0,20 | 0,34 | 0,58 |
| 3 – 4 | 0,18 | 0,28 | 0,65 | 0,19 | 0,39 | 0,49 |
| 4 – 5 | 0,25 | 0,31 | 0,80 | 0,27 | 0,43 | 0,63 |
| 5 – 6 | 0,23 | 0,34 | 0,69 | 0,26 | 0,46 | 0,57 |
| 6 – 7 | 0,12 | 0,37 | 0,33 | 0,12 | 0,48 | 0,25 |
| 7 – 8 | 0,12 | 0,39 | 0,31 | 0,12 | 0,50 | 0,24 |
| 8 – 9 | 0,16 | 0,40 | 0,39 | 0,17 | 0,52 | 0,33 |
| 9 – 10 | 0,15 | 0,41 | 0,37 | 0,17 | 0,49 | 0,34 |
| 10 – 11 | 0,27 | 0,42 | 0,64 | 0,34 | 0,49 | 0,69 |
| 11 – 12 | 0,25 | 0,43 | 0,60 | 0,32 | 0,48 | 0,67 |
| 12 – 13 | 0,14 | 0,44 | 0,33 | 0,16 | 0,47 | 0,33 |
| 13 – 14 | 0,14 | 0,44 | 0,32 | 0,15 | 0,46 | 0,34 |
| 14 – 15 | 0,15 | 0,45 | 0,33 | 0,16 | 0,45 | 0,36 |
| 15 – 16 | 0,15 | 0,45 | 0,32 | 0,16 | 0,43 | 0,37 |
| 16 – 17 | 0,27 | 0,46 | 0,58 | 0,34 | 0,41 | 0,82 |
| 17 – 18 | 0,26 | 0,46 | 0,55 | 0,32 | 0,40 | 0,80 |
| 18 – 19 | 0,37 | 0,47 | 0,80 | 0,62 | 0,38 | 1,63 |
| 19 – 20 | 0,35 | 0,47 | 0,74 | 0,52 | 0,37 | 1,41 |
| 20 – 21 | 17,36 | 0,52 | 33,5 | 0,31 | 0,35 | 0,88 |
| 21 – 22 | 9,58 | 0,52 | 18,4 | 0,28 | 0,33 | 0,86 |
| 22 – 23 | 0,71 | 0,48 | 1,47 | -0,11 | 0,31 | -0,35 |
| 23 – 24 | 0,63 | 0,48 | 1,30 | -0,39 | 0,30 | -1,30 |
| 24 – 25 | 3,30 | 0,52 | 6,32 | 0,22 | 0,29 | 0,74 |
| 25 – 26 | 2,54 | 0,52 | 4,88 | 0,19 | 0,29 | 0,66 |
| 26 – 27 | 0,30 | 0,47 | 0,64 | 0,35 | 0,28 | 1,24 |
| 27 – 28 | 0,29 | 0,47 | 0,61 | 0,33 | 0,28 | 1,19 |
| 28 – 29 | 0,31 | 0,48 | 0,65 | 0,35 | 0,27 | 1,29 |
| 29 – 30 | 0,30 | 0,48 | 0,62 | 0,34 | 0,27 | 1,25 |

Tabel 6. Hasil analisis potensi likuifaksi dengan *cyclic stress approach* pada daerah Tangerang Selatan

| Elevasi (m) | Metode | | | Tokimatsu-Yoshimi | | |
|-------------|-------------|------|------|-------------------|------|-------|
| | Seed et al. | | | CRR | CSR | FS |
| | CRR | CSR | FS | CRR | CSR | FS |
| 0 – 1 | 0,24 | 0,27 | 0,90 | 0,18 | 0,27 | 0,66 |
| 1 – 2 | 0,11 | 0,27 | 0,40 | 0,17 | 0,26 | 0,67 |
| 2 – 3 | 0,17 | 0,34 | 0,49 | 0,19 | 0,33 | 0,56 |
| 3 – 4 | 0,14 | 0,39 | 0,36 | 0,19 | 0,37 | 0,50 |
| 4 – 5 | 0,36 | 0,43 | 0,83 | 0,21 | 0,40 | 0,53 |
| 5 – 6 | 0,29 | 0,46 | 0,62 | 0,21 | 0,42 | 0,50 |
| 6 – 7 | 0,01 | 0,48 | 0,02 | 0,17 | 0,44 | 0,38 |
| 7 – 8 | 0,01 | 0,50 | 0,01 | 0,17 | 0,45 | 0,38 |
| 8 – 9 | 0,08 | 0,52 | 0,15 | 0,19 | 0,46 | 0,42 |
| 9 – 10 | 0,07 | 0,49 | 0,15 | 0,19 | 0,46 | 0,41 |
| 10 – 11 | 0,46 | 0,49 | 0,94 | 0,24 | 0,46 | 0,53 |
| 11 – 12 | 0,38 | 0,48 | 0,80 | 0,24 | 0,46 | 0,53 |
| 12 – 13 | 0,05 | 0,47 | 0,12 | 0,17 | 0,45 | 0,39 |
| 13 – 14 | 0,05 | 0,46 | 0,11 | 0,17 | 0,45 | 0,39 |
| 14 – 15 | 0,06 | 0,45 | 0,14 | 0,18 | 0,44 | 0,40 |
| 15 – 16 | 0,06 | 0,43 | 0,13 | 0,16 | 0,43 | 0,37 |
| 16 – 17 | 0,44 | 0,41 | 1,06 | 0,24 | 0,42 | 0,56 |
| 17 – 18 | 0,38 | 0,40 | 0,95 | 0,24 | 0,42 | 0,58 |
| 18 – 19 | 1,97 | 0,38 | 5,15 | 0,35 | 0,41 | 0,86 |
| 19 – 20 | 1,34 | 0,37 | 3,64 | 0,35 | 0,40 | 0,88 |
| 20 – 21 | 0,14 | 0,35 | 0,42 | 3,34 | 0,38 | 8,70 |
| 21 – 22 | 0,20 | 0,33 | 0,60 | 3,34 | 0,37 | 9,00 |
| 22 – 23 | 2,68 | 0,31 | 8,58 | 1,51 | 0,36 | 4,19 |
| 23 – 24 | 2,74 | 0,30 | 9,10 | 1,51 | 0,35 | 4,31 |
| 24 – 25 | 0,49 | 0,29 | 1,66 | 3,34 | 0,34 | 9,81 |
| 25 – 26 | 0,70 | 0,29 | 2,43 | 3,34 | 0,33 | 10,10 |
| 26 – 27 | 0,68 | 0,28 | 2,39 | 0,48 | 0,32 | 1,51 |
| 27 – 28 | 0,58 | 0,28 | 2,10 | 0,48 | 0,31 | 1,56 |
| 28 – 29 | 0,78 | 0,27 | 2,84 | 1,21 | 0,30 | 3,98 |
| 29 – 30 | 0,68 | 0,27 | 2,53 | 1,21 | 0,30 | 4,09 |



Gambar 2. Analisis potensi likuifaksi dan *cyclic mobility* dengan metode Tsuchida pada daerah Wakatobi



Gambar 3. Analisis potensi likuifaksi dan *cyclic mobility* dengan metode Tsuchida pada daerah Tangerang Selatan

Hasil perhitungan seluruh metode analisis dirangkum pada Tabel 7 dan Tabel 8 untuk menentukan lapisan tanah yang mengalami likuifaksi dan *cyclic mobility*. Lapisan tanah yang ditandai dengan keterangan “Ya” dianggap mengalami likuifaksi dan *cyclic mobility*, sedangkan lapisan tanah yang ditandai dengan keterangan “Tidak” dianggap tidak mengalami likuifaksi dan *cyclic mobility*.

Tabel 7. Rangkuman hasil analisis potensi likuifaksi dan *cyclic mobility* daerah Wakatobi

| Elevasi (m) | Idriss-Boulangier | Youd-Idriss | Hasil Metode | Seed et al. | Tokimatsu-Yoshimi | Tsuchida | Lapisan Terlikuifaksi? |
|-------------|-------------------|-------------|--------------|-------------|-------------------|----------|------------------------|
| 0 – 1 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 1 – 2 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 2 – 2,5 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 2,5 – 3 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 3 – 4 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 4 – 5 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 5 – 6 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 6 – 7 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 7 – 8 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 8 – 9 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 9 – 10 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 10 – 11 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 11 – 12 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 12 – 13 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 13 – 14 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 14 – 15 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 15 – 16 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 16 – 17 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 17 – 18 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 18 – 19 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 19 – 20 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 20 – 21 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 21 – 22 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 22 – 23 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 23 – 24 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 24 – 25 | Ya | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak | N/A | Tidak |
| 25 – 26 | Ya | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak | N/A | Tidak |
| 26 – 27 | Ya | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak | N/A | Tidak |
| 27 – 28 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak | N/A | Tidak |
| 28 – 29 | Tidak | Tidak | Ya | Tidak | N/A | N/A | Tidak |
| 29 – 30 | Tidak | Tidak | Ya | Tidak | N/A | N/A | Tidak |

Tabel 8. Rangkuman hasil analisis potensi likuifaksi dan *cyclic mobility* daerah Tangerang Selatan

| Elevasi (m) | Idriss-Boulanger | Youd-Idriss | Hasil Metode Seed et al. | Tokimatsu-Yoshimi | Tsuchida | Lapisan Terlikuifaksi? |
|-------------|------------------|-------------|--------------------------|-------------------|----------|------------------------|
| 0 – 1 | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 1 – 2 | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 2 – 3 | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 3 – 4 | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 4 – 5 | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 5 – 6 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 6 – 7 | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 7 – 8 | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 8 – 9 | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 9 – 10 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 10 – 11 | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 11 – 12 | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 12 – 13 | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 13 – 14 | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 14 – 15 | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 15 – 16 | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 16 – 17 | Tidak | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 17 – 18 | Ya | Ya | Ya | Ya | N/A | Ya |
| 18 – 19 | Tidak | Ya | Tidak | Ya | N/A | Tidak |
| 19 – 20 | Tidak | Ya | Tidak | Ya | N/A | Tidak |
| 20 – 21 | Ya | Tidak | Ya | Tidak | N/A | Tidak |
| 21 – 22 | Ya | Tidak | Ya | Tidak | N/A | Tidak |
| 22 – 23 | Tidak | Tidak | Ya | Tidak | N/A | Tidak |
| 23 – 24 | Tidak | Tidak | Ya | Tidak | N/A | Tidak |
| 24 – 25 | Tidak | Tidak | Ya | Tidak | N/A | Tidak |
| 25 – 26 | Tidak | Tidak | Ya | Tidak | N/A | Tidak |
| 26 – 27 | Tidak | Tidak | Tidak | Ya | N/A | Tidak |
| 27 – 28 | Tidak | Tidak | Tidak | Ya | N/A | Tidak |
| 28 – 29 | Tidak | Tidak | Tidak | Ya | N/A | Tidak |
| 29 – 30 | Tidak | Tidak | Tidak | Ya | Ya | Tidak |

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan berupa:

1. Hasil analisis potensi likuifaksi dan *cyclic mobility* di Tangerang Selatan dengan *cyclic stress approach* menunjukkan bahwa lapisan tanah pada elevasi 0-18 meter berpotensi untuk mengalami likuifaksi dan *cyclic mobility*. Meskipun masih ditemukan beberapa nilai FS bernilai < 1 , lapisan tanah pada elevasi 18-30 meter relatif tidak mengalami likuifaksi dan *cyclic mobility* karena sebagian besar hasil analisis menunjukkan nilai FS > 1 . Hasil analisis metode Tsuchida mendukung potensi likuifaksi pada lapisan atas terutama pada elevasi 5-6 meter, 9-10 meter, dan 13-14 meter.
2. Hasil analisis potensi likuifaksi dan *cyclic mobility* di Wakatobi dengan *cyclic stress approach* menunjukkan bahwa lapisan tanah pada elevasi 0-24 meter berpotensi untuk mengalami likuifaksi dan *cyclic mobility*. Hal ini diakibatkan oleh nilai N-SPT yang relatif rendah dengan rentang nilai 1 hingga 12, disertai dengan elevasi muka air tanah yang dangkal pada 2,5 meter. Nilai FS yang diperoleh pun relatif kecil dengan nilai terkecil sebesar 0,04. Hal ini didukung oleh hasil analisis metode Tsuchida yang menunjukkan lapisan mengalami likuifaksi dan *cyclic mobility* pada elevasi 3-4 meter, 5-6 meter, dan 7-8 meter.
3. Potensi likuifaksi dan *cyclic mobility* di Wakatobi lebih dominan dibandingkan dengan Tangerang Selatan, dibuktikan dengan rentang lapisan tanah berpotensi likuifaksi dan *cyclic mobility* yang lebih besar dari permukaan hingga 24 meter. Meskipun percepatan gempa maksimum yang digunakan dalam analisis di Tangerang Selatan lebih besar, nilai N-SPT pada lapisan tanah daerah tersebut cenderung lebih tinggi. Selain itu, jenis tanah di Tangerang Selatan juga lebih bervariasi, seperti lempung, lanau, dan pasir, yang menunjukkan tingkat kepadatan yang lebih baik sehingga lebih mampu menahan gelombang geser yang diterima saat terjadi gempa. Berbeda

dengan kondisi di Wakatobi yang memiliki nilai N-SPT yang kecil, tanah di daerah ini menjadi lebih rentan mengalami likuifaksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambawati, I. W., Feranie, S., & Tohari, A. (2020). Analisis Potensi Likuifaksi Pada Wilayah Cekungan Bandung Dengan Menggunakan Metode Uji Penetrasi Konus. *RISET Geologi Dan Pertambangan*, 30(1), 21–37. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2020.v30.1038>
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). Persyaratan Perancangan Geoteknik. In *SNI* (Vol. 8460).
- Chrisandy & Susilo, A. J. (2023). Analisis Perbandingan Potensi Cyclic Mobility pada Tanah Lempung di Beberapa Tempat di Indonesia. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 6(3), 1067–1076.
- Chung, J., Rogers, J. D., & Asce, M. (2011). *Simplified Method for Spatial Evaluation of Liquefaction Potential in the St. Louis Area*. 137(May), 505–515. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000450](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000450)
- Dyah, S. W., & Prasojo, E. (2020). Tata Kelola Kolaboratif Dalam Upaya Penanggulangan Pasca Gempa di Wilayah Jawa Bagian Barat. *Jurnal Ilmu Administrasi Publik*, 8, 313–332.
- Fernando, N., & Prihatiningsih, A. (2019). Analisis Potensi Cyclic Mobility pada Tanah Kohesif. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(3), 77. <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i3.5811>
- Imelda, A., Farihin, M. Z., Sholihah, N. C., & Sari, D. P. (2024). Dinamika Pergerakan Lempeng Tektonik Menggunakan Analisis Literatur Tentang Teori Dan Dampaknya. *BIOCHEPHY: Journal of Science Education*, 4(1), 75–80.
- Ismana, D. R., Baehera, S., Fitrianto, A., Sartono, B., & Oktarina, S. D. (2022). Penggerombolan desa di Jawa Barat berdasarkan daerah rawan bencana. *Jurnal Statistika Dan Aplikasinya*, 6(2), 243–252.
- Lestari, R. A. (2018). *Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi menggunakan Data SPT (Standar Penetration Test) dan CPT (Cone Penetration Test)*. Universitas Islam Indonesia.
- Lokananta, R. D., & Susilo, A. J. (2018). Analisis Daya Dukung Tiang Aksial dengan Mempertimbangkan Potensi Likuifaksi. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 281–289.
- Macedo, J., & Bray, J. D. (2018). Key trends in liquefaction-induced building settlement. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 144(11), 4018076.
- Markus & Kawanda, A. (2020). Perancangan Fondasi Tiang Pancang Pada Tanah Berpotensi Likuifaksi Di Sulawesi. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(3), 865–878. <https://doi.org/https://doi.org/10.24912/jmts.v3i3.8747>
- Pakuani, K. W., & Kurniawan, R. (2021). Kajian Penentuan Nilai Epsilon Optimal Pada Algoritma DBSCAN Dan Pemetaan Daerah Rawan Gempa Bumi Di Indonesia Tahun 2014-2020. *Seminar Nasional Official Statistics, 2021*(1), 991–1000.
- Pramana, I. M. W., Arya, I. W., Wiraga, I. W., & Dwipa RS, I. S. N. (2023). Analisis Penurunan Daya Dukung Tiang Tunggal pada Tanah yang Berpotensi Mengalami Likuifaksi di Kota Denpasar, Bali. *Jurnal Talenta Sipil*, 6(2), 328–335. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v6i2.320>
- Prayitno, D. P., & Artati, H. K. (2021). Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Distribusi Ukuran Butir Tanah dan Data Cone Penetration Test (CPT). *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 27(2), 242–249.
- Sahulata, R. A. (2024). Mobile Apps Mitigasi Pascagempa dan Revitalisasi Daerah Gempa. *E-JURNAL JUSITI: Jurnal Sistem Informasi Dan Teknologi Informasi*, 13(1), 64–74.
- Sainuddin, S. (2022). Analisis Dampak Kerusakan Infrastruktur Akibat Likuifaksi Di Palu. *Jurnal Azimut*, 4(2), 78–84. <https://doi.org/10.31317/jaz.v4i2.839>
- Sanusi, H. (2018). Jurnalisme dan Bencana (Refleksi Peran Jurnalis dalam Liputan Bencana Gempa, Tsunami dan Likuifaksi Palu-Donggala). *Jurnal Jurnalisa*, 4(2), 211–225. <https://doi.org/10.24252/jurnalisa.v4i2.6895>
- Saputra, Z. A. E., & Susanto, T. A. (2023). *Perancangan Rigid Inclusion Untuk Mengurangi Dampak Likuifaksi Sirkuit Mandalika*. <http://repository.unissula.ac.id/id/eprint/32525>

