

## Penerapan Metode Cyclic Stress dalam Analisis Likui-faksi pada Hotel 9 Lantai di Semarang

### *Application of Cyclic Stress Method in Liquidity Analysis at a 9-storey hotel in Semarang*

Mitsaq Addina Nisa<sup>1</sup>, Yuli Fajarwati<sup>2</sup>, Danang Purwanto<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Konstruksi Gedung, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta.

<sup>2</sup> Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.

<sup>3</sup> Sarjana Terapan Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Yogyakarta.

Corresponding Author: [mitsaq.addina.nisa@sipil.pnj.ac.id](mailto:mitsaq.addina.nisa@sipil.pnj.ac.id)

#### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi likuifaksi di lokasi pembangunan Hotel Grandhika Pemuda Semarang, yang terletak di wilayah rawan gempa. Mengingat kondisi tanah yang tidak stabil dan adanya bangunan tinggi di sekitarnya, evaluasi ini sangat penting untuk memastikan kekuatan dan keamanan struktur bangunan. Data yang digunakan mencakup hasil uji tanah (SPT), kelas tanah, dan percepatan gempa maksimum (PGA) yang diperoleh dari Desain Spektra Indonesia. Analisis dilakukan menggunakan metode Cyclic Stress untuk menghitung rasio tegangan siklik (CSR) dan rasio ketahanan siklik (CRR). Hasil analisis menunjukkan bahwa potensi likuifaksi terjadi pada kedalaman 4 meter, sedangkan pada kedalaman 6 meter likuifaksi tidak terdeteksi. Nilai CRR yang lebih rendah dari CSR pada kedalaman 4 meter mengindikasikan kerentanan tanah terhadap likuifaksi, dengan Liquefaction Potential Index (LPI) menunjukkan tingkat kerentanan moderat hingga tinggi. Berdasarkan temuan ini, penggunaan fondasi dangkal tidak disarankan. Sebagai alternatif, fondasi dalam dianjurkan untuk mencapai lapisan tanah yang lebih stabil pada kedalaman  $\geq 6$  meter, guna memastikan keamanan dan stabilitas struktur bangunan..

*Kata kunci: Likui-faksi, Gempa, Hotel, Fondasi, Cyclic Stress.*

#### ABSTRACT

This examine objectives to assess the liquefaction ability at the development webweb page of the Grandhika Pemuda Hotel in Semarang, that is positioned in an earthquake-inclined area. Given the risky soil situations and the presence of tall homes nearby, this assessment is essential to make sure the electricity and protection of the constructing structure. The facts used consists of consequences from the Standard Penetration Test (SPT), soil classification, and Peak Ground Acceleration (PGA) acquired from the Indonesian Design Spectrum ([rsa.ciptakarya.pu.go.id](http://rsa.ciptakarya.pu.go.id)). The evaluation become performed the use of the Cyclic Stress technique to calculate the Cyclic Stress Ratio (CSR) and Cyclic Resistance Ratio (CRR). The evaluation consequences suggest that liquefaction ability happens at a intensity of four meters, while no liquefaction is detected at a intensity of 6 meters. The CRR values decrease than the CSR at a four-meter intensity suggest the soil's susceptibility to liquefaction, with the Liquefaction Potential Index (LPI) displaying a slight to excessive stage of vulnerability. Based on those findings, using shallow foundations isn't recommended. Instead, deep foundations are recommended to attain extra strong soil layers at depths of  $\geq 6$  meters to make sure the constructing's structural protection and stability.

*Keywords: Liquefaction, Earthquake Hotel, Foundation, Cyclic Stress*

#### PENDAHULUAN

Indonesia, termasuk kota Semarang, berada di wilayah yang rawan gempa bumi dan tsunami karena terletak di pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia. Kondisi ini menyebabkan tingginya risiko bencana alam yang dapat merusak infrastruktur dan mengancam keselamatan jiwa. Dalam upaya mengurangi risiko tersebut, diperlukan perencanaan dan desain struktur bangunan yang mampu menahan beban gempa dan tsunami serta mempertimbangkan potensi kerusakan lain, seperti likuifaksi (Nisa et al., 2020)

Likuifaksi adalah kebenaran di mana butala kekurangan tenaga gesernya dan berkepribadian sebagai larutan tempo menyelami gerakan kisas gempa bumi (Cabalar et al., 2019; Das et al., 2019; Fajarwati & Kusuma, 2021; Munirwan et al., 2020). Fenomena ini bisa mendatangkan kehancuran serius dekat bentuk kantor, terutama dekat permadani, yang dekat buntutnya bisa melantarkan marabahaya kantor secara keseluruhan. Analisis keandalan likuifaksi penting bagian dalam pendekatan permadani kantor, terutama di kawasan pakai bab butala yang tidak stabil. Faktor-molekul yang menakluki likuifaksi terhitung tonggak perkara butala, sadar larutan butala, dan rejang butala maksimum (Munirwan et al., 2020; Soebowo et al., 2009; Yudi et al., 2019). Metode ini memungkinkan perhitungan potensi likuifaksi berdasarkan beban gempa yang diterima tanah, sehingga memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai risiko yang ada.

Hotel Grandhika Pemuda Semarang merupakan salah satu proyek pembangunan gedung tinggi yang menghadapi tantangan ini. Kondisi tanah yang tidak stabil dan bangunan-bangunan tinggi di sekitar areal pembangunan, penting untuk memastikan bahwa fondasi hotel tersebut dirancang dengan mempertimbangkan semua potensi risiko, termasuk likuifaksi. Evaluasi fondasi dilakukan menggunakan metode Cyclic Stress untuk mengidentifikasi potensi likuifaksi pada kedalaman tertentu (Nisa et al., 2020)(Fajarwati & Kusuma, 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis likuifaksi pada fondasi Hotel Grandhika Pemuda Semarang menggunakan metode Cyclic Stress, dengan hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi yang tepat untuk desain fondasi yang mampu menahan beban gempa dan tsunami, serta mengurangi risiko kerusakan akibat likuifaksi, sehingga menjamin keamanan dan stabilitas struktur bangunan (Fajarwati et al., 2023).

## **TINJAUAN PUSTAKA**

Likuifaksi adalah proses di mana tanah tiba-tiba kehilangan sebagian besar kekuatan gesernya saat mengalami getaran, menyebabkan regangan geser yang sangat besar sehingga tanah tersebut berperilaku seperti cairan

Likuifaksi terjadi ketika tanah jenuh air kehilangan kekuatan dan kekakuannya akibat guncangan seismik, mengakibatkan tanah berperilaku seperti cairan. Kondisi ini sering terjadi pada tanah pasir lepas atau tanah berbutir halus dengan kandungan air yang tinggi. Likuifaksi terjadi ketika tekanan air dalam pori-pori tanah meningkat akibat beban berulang, yang menyebabkan penurunan tegangan efektif di dalam tanah (Boulanger & Idriss, 2014; Iwasaki et al., 1981; Johari et al., 2019; Wadi et al., 2021; Yudi et al., 2019). Proses ini akan berlanjut hingga tegangan geser mencapai atau lebih rendah dari resistensi geser tanah tersebut. Potensi likuifaksi di suatu lokasi dapat merusak infrastruktur di lokasi tersebut, sehingga perlu diperhitungkan dengan cermat untuk mencegah kegagalan struktur pada bangunan.

Metode Cyclic Stress digunakan untuk mengevaluasi potensi likuifaksi dengan mempertimbangkan tegangan siklik yang dihasilkan oleh gempa bumi. Metode ini mengukur rasio tegangan siklik (Cyclic Stress Ratio atau CSR) yang terjadi pada tanah selama gempa dan membandingkannya dengan rasio ketahanan siklik (Cyclic Resistance Ratio atau CRR) dari (Cabalar et al., 2019; Chang et al., 2011; Du et al., 2019; Hossain & Esha, n.d.; Iwasaki et al., 1981; Wadi et al., 2021; Yudi et al., 2019). Apabila CSR lebih besar dari CRR, maka likuifaksi kemungkinan besar akan terjadi. Beberapa parameter dalam analisis likuifaksi sebagai berikut:

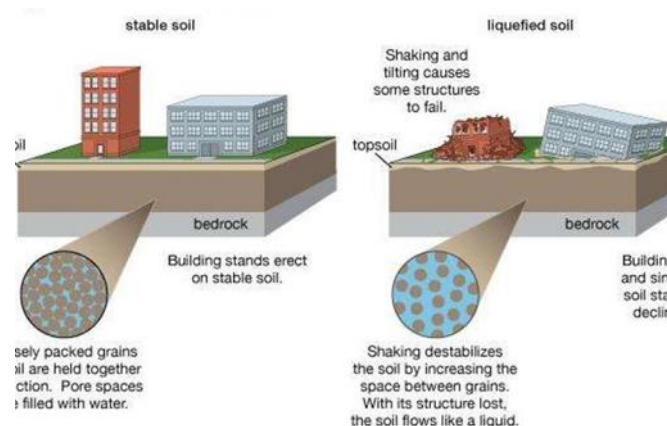
1. Percepatan Gempa Maksimum (Peak Ground Acceleration/PGA): Merupakan percepatan maksimum yang terjadi pada permukaan tanah selama gempa. PGA digunakan untuk menghitung tegangan siklik yang diterima oleh tanah.
2. Cyclic Stress Ratio (CSR): Rasio antara tegangan siklik yang diterima oleh tanah dan tekanan efektif awalnya. CSR digunakan untuk menentukan potensi likuifaksi pada suatu lokasi.
3. Cyclic Resistance Ratio (CRR): Kemampuan tanah untuk menahan tegangan siklik tanpa mengalami likuifaksi. CRR dipengaruhi oleh karakteristik tanah seperti ukuran butir, kerapatan, dan kondisi geologi.
4. Liquefaction Potential Index (LPI): Indeks yang digunakan untuk menilai tingkat kerentanan suatu lokasi terhadap likuifaksi berdasarkan parameter CSR dan CRR (Franke et al., 2019).

Likuifaksi pada lapisan tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk sifat teknis tanah, kondisi lingkungan geologi, dan karakteristik gempa bumi. Beberapa faktor yang perlu diperhatikan meliputi:

1. Ukuran Butir Tanah: Ukuran butir tanah mempengaruhi kemampuan tanah untuk mengalir ketika mengalami likuifaksi. Tanah berbutir halus cenderung lebih rentan terhadap likuifaksi.
2. Kedalaman Muka Air Tanah: Kedalaman muka air tanah berpengaruh pada tekanan air pori yang dapat meningkatkan potensi likuifaksi.
3. Percepatan Tanah Maksimum: Percepatan getaran tanah maksimum selama gempa juga merupakan faktor penting yang menentukan potensi likuifaksi.

Efek penurunan ini dapat menyebabkan berbagai jenis kerusakan pada struktur bangunan dan infrastruktur. Ada sembilan tipe penurunan tanah akibat likuifaksi, sementara menyebutkan tiga tipe perpindahan lateral yang dapat terjadi akibat likuifaksi.

Potensi likuifaksi merupakan faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam perancangan fondasi dan struktur bangunan, terutama di daerah yang rawan gempa (Nisa et al., 2020). Analisis dan mitigasi likuifaksi dapat mengurangi risiko kegagalan struktur dan kerusakan infrastruktur, sehingga meningkatkan keselamatan dan ketahanan bangunan terhadap bencana alam (Fajarwati & Kusuma, 2021; Nisa et al., 2020). Oleh karena itu, survei dan evaluasi tanah sebelum pembangunan sangatlah penting untuk memastikan stabilitas dan keamanan struktur bangunan (Gambar 2).



**Gambar 1** Profil Aliran disekitar struktur

Sumber: [www.britannica.com](http://www.britannica.com)

Persyaratan desain fondasi yang diterapkan pada struktur masuk dalam kategori desain seismik D, E, dan F, berdasarkan ketentuan tambahan yang dijelaskan dalam laporan investigasi geoteknik di Pasal 6.7.2. Evaluasi risiko likuifaksi dan penurunan kekuatan tanah mempertimbangkan percepatan tanah maksimum di lokasi, magnitudo gempa, dan karakteristik sumber yang sesuai dengan tingkat percepatan tanah maksimum. Percepatan tanah puncak harus ditentukan melalui dua pendekatan: pertama, dengan kajian spesifik lokasi yang mempertimbangkan amplifikasi yang mungkin terjadi; kedua, menggunakan percepatan tanah puncak PGAM sesuai ketentuan tambahan yang dijelaskan dalam laporan investigasi geoteknik untuk kategori desain seismik D hingga F di Pasal 6.7.3 (Badan Standardisasi Nasional, 2019)

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi potensi likuifaksi pada fondasi Hotel Grandhika Pemuda Semarang. Metode penelitian mencakup beberapa tahap, yaitu pengumpulan data, analisis data, dan interpretasi hasil (Gambar 1). Berikut adalah tahapan lengkap dari metode penelitian ini:

### **Pengumpulan Data**

#### **a. Data Uji Tanah (SPT)**

- Pengujian Standard Penetration Test (SPT) dilakukan di lokasi pembangunan untuk mendapatkan data kekuatan tanah.
- Data SPT akan memberikan informasi mengenai kedalaman tanah yang berpotensi mengalami likuifaksi serta sifat fisik tanah, seperti kepadatan dan klasifikasi tanah.

#### **b. Data Kelas Situs Tanah**

Pengumpulan data kelas situs tanah mencakup informasi mengenai jenis tanah, muka air tanah, dan kondisi geologi di lokasi pembangunan.

#### **c. Data Seismik**

- Pengumpulan data percepatan tanah maksimum (Peak Ground Acceleration/PGA) yang dihasilkan dari gempa bumi yang diantisipasi.
- Data sejarah gempa di daerah Semarang untuk memahami karakteristik gempa yang mungkin terjadi.

## **Analisis Data**

#### **a. Menentukan Kelas Situs Tanah**

Untuk memahami faktor amplifikasi yang dipengaruhi oleh karakteristik kelas situs tanah, perlu diketahui nilai rata-rata dari hasil uji Standard Penetration Test (SPT) [17]. Menurut standar SNI 1726:2019, nilai rata-rata dari uji SPT ini dapat dihitung menggunakan persamaan yang telah ditentukan (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

#### **b. Momen Magnitude Gempa (Mw)**

Momen magnitudo gempa digunakan untuk menganalisis potensi likuifaksi sebagai beban siklik yang dialami oleh fondasi dan lereng. Penelitian ini menggunakan data dari Peta Gempa Indonesia 2016, dengan Megathrust Jawa yang memiliki magnitudo momen 6,1.

c. Peak Ground Acceleration (PGA)

Percepatan Gempa Maksimum (PGA) adalah hasil dari evaluasi gerakan seismik yang mengikuti standar peta gempa Indonesia. Nilai percepatan tanah maksimum ini didapatkan dari analisis khusus di lokasi tertentu yang memperhitungkan fenomena amplifikasi. Lebih spesifiknya, PGA ditentukan dengan (Badan Standardisasi Nasional, 2019) :

$$PGA_M = F_{PGA} \times PGA \quad (1)$$

d. Perhitungan Cyclic Stress Ratio (CSR)

- Menghitung rasio tegangan siklik (CSR) berdasarkan data percepatan tanah maksimum (PGA) dan tekanan efektif awal tanah.
- Formula CSR yang digunakan adalah:

$$CSR = 0,65 \times \left( \frac{a_{\max}}{g} \right) \left( \frac{\sigma_{vc}}{\sigma'_{vc}} \right) \times r_d \quad (2)$$

e. Perhitungan Cyclic Resistance Ratio (CRR)

- Menentukan rasio ketahanan siklik (CRR) dari data SPT yang diperoleh.
- Formula CRR yang digunakan berdasarkan korelasi empiris yang ada, seperti yang diusulkan oleh Seed dan Idriss (1971).

$$CRR = CRR_{M7.5} \times MSF \quad (3)$$

$$CRR_{M7.5} = \exp \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{14,1} + \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{126} \right)^2 - \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{23,6} \right)^3 + \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{25,4} \right)^4 - 28 \right) \quad (4)$$

f. Evaluasi *Liquefaction Potential Index* (LPI)

*Liquefaction Potensial Index* (LPI) adalah ukuran yang digunakan untuk menilai kemungkinan terjadinya likuifaksi di suatu wilayah. FSliq adalah faktor aman terhadap likuifaksi. FS likuefaksi dinyatakan aman apabila angka menunjukkan angka lebih dari 1 (FSliq >1), maka tidak terjadi likuifaksi (Iwasaki et al., 1981)

$$FS_{liq} = \frac{CRR_{M7.5}}{CSR} \quad (5)$$

- Menghitung indeks potensi likuifaksi (LPI) untuk menentukan tingkat kerentanan lokasi terhadap likuifaksi.
- Menggunakan formula yang menggabungkan nilai CSR dan CRR untuk memberikan penilaian risiko likuifaksi pada berbagai kedalaman.

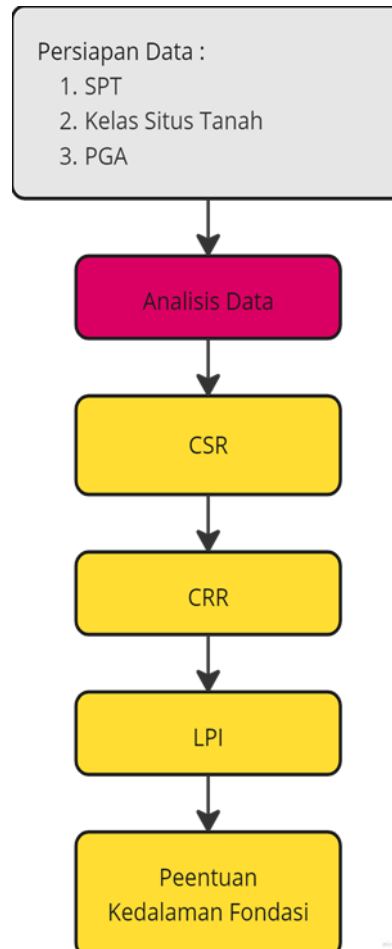
## Interpretasi Hasil

a. Identifikasi Risiko Likuifaksi

- Menilai potensi likuifaksi pada lokasi pembangunan berdasarkan hasil perhitungan CSR, CRR, dan LPI.

- Mengidentifikasi kedalaman tanah yang berisiko tinggi terhadap likuifaksi.
- b. Rekomendasi Desain Fondasi
- Berdasarkan hasil evaluasi risiko likuifaksi, memberikan rekomendasi desain fondasi yang sesuai untuk mengurangi risiko likuifaksi.

Rekomendasi ini mencakup metode perbaikan tanah, pemilihan jenis fondasi, dan strategi mitigasi lainnya untuk memastikan keamanan dan stabilitas struktur.



**Gambar 2** Bagan Alir Analisa Potensi Likuifaksi

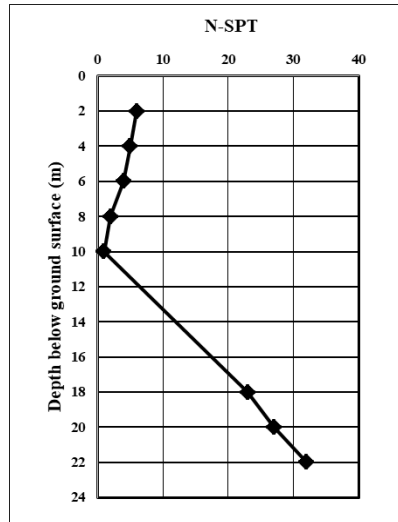
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### HASIL

Dari hasil uji Standard Penetration Test (SPT) yang dilakukan di lokasi pembangunan Hotel Grandhika Pemuda Semarang, didapatkan nilai-N SPT pada beberapa kedalaman. Nilai-N-SPT ini memberikan gambaran mengenai kepadatan dan konsistensi tanah di lokasi tersebut. Nilai-N-SPT yang didapatkan bervariasi antara 0 hingga 35 pada kedalaman 0 hingga 22 meter, menunjukkan adanya variasi kepadatan tanah dari lapisan tanah lepas hingga padat (Gambar 2). Data N-SPT yang diperoleh dari pengujian bore log di kota Semarang mengindikasikan bahwa tanah di sekitar area tersebut terdiri dari pasir-lanau dengan nilai yang berfluktuasi antara 4 hingga 55, dan diklasifikasikan sebagai jenis tanah sedang (SD).

Berdasarkan analisis kelas situs tanah, lokasi pembangunan terdiri dari lapisan tanah berpasir dengan kandungan air yang tinggi, terutama pada kedalaman 5 hingga 15 meter. Kedalaman

air tanah ditemukan 2 meter di bawah permukaan tanah, menunjukkan bahwa lapisan tanah yang mengandung air cukup dekat dengan permukaan. Perkiraan percepatan tanah maksimum di lokasi pembangunan adalah sebesar 0,3g berdasarkan data gempa di wilayah Semarang. Data sejarah gempa menunjukkan potensi terjadinya gempa dengan magnitudo antara 6,5 hingga 7,5 pada skala Richter.



Gambar 3 Grafik Nilai N-SPT

## PEMBAHASAN

### Momen magnitude gempa

Magnitudo momen gempa merupakan faktor penting dalam analisis potensi likuifaksi, karena menentukan beban siklik yang diterima oleh tanah fondasi dan lereng. Penelitian ini menggunakan data dari Peta Gempa Indonesia 2016, dengan fokus pada data dari Megathrust Tengah 1 Jawa Tengah yang memiliki magnitudo  $M_w = 6,1$ .

Tabel 1 Output Desain Spektra Indonesia

No.	Variabel	Nilai
1	PGA (g)	0,4060
2	SS (g)	0,9110
3	S1 (g)	0,3910

### Momen magnitude gempa

Magnitudo momen gempa merupakan faktor penting dalam analisis potensi likuifaksi, karena menentukan beban siklik yang diterima oleh tanah fondasi dan lereng. Penelitian ini menggunakan data dari Peta Gempa Indonesia 2016, dengan fokus pada data dari Megathrust Tengah 1 Jawa Tengah yang memiliki magnitudo  $M_w = 6,1$ .

### Cyclic Stress Ratio (CSR) dan Cyclic Resistant Ratio (CRR)

Berdasarkan analisis data dari uji N-SPT dan faktor lainnya, didapatkan nilai CSR dan CRR menggunakan persamaan (2) dan (4). Nilai yang menunjukkan hubungan antara CSR dan CRR berdasarkan perhitungan tersebut terdapat pada Tabel 2. Jika CRR lebih rendah dari CSR, maka dapat disimpulkan bahwa tanah mengalami likuifaksi.

### Liquefaction Potential Index (LPI)

Indeks Potensial Likuefaksi (LPI) mengukur kemungkinan terjadinya likuefaksi pada tanah. Faktor keamanan likuefaksi (FS Liq) kurang dari 1 menunjukkan bahwa likuefaksi mungkin terjadi, sedangkan nilai lebih dari 1 menunjukkan bahwa lokasi tersebut aman dari risiko likuefaksi. Berdasarkan persamaan (5), perhitungan hubungan antara CSR dan Indeks Potensi Likuefaksi (LPI), ditemukan bahwa likuefaksi terjadi pada kedalaman 4 meter.

**Tabel 1** Hasil Analisa CSR, CRR dan LPI

No.	Kedalaman (m)	CSR	CRR	FS Liq
1	2	0,26	1,36	2,00
2	4	0,26	0,28	0,55
3	6	0,32	1,71	2,00
4	8	0,35	1,68	2,00

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis likuefaksi disimpulkan bahwa likuefaksi terjadi pada kedalaman 4 meter dari permukaan tanah, sedangkan pada kedalaman 6 meter tidak terjadi likuefaksi. Hal ini terlihat pada perbandingan CRR dan CSR serta LPI secara mendalam. Pada kedalaman ini nilai CRR lebih kecil dari CSR dan FSliq kurang dari 1. Mengingat fungsi bangunan sebagai tempat berlindung dari gempa dan tsunami, maka penggunaan pondasi dangkal tidak disarankan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa pondasi aman sebaiknya dirancang pada kedalaman  $\geq 6$  meter. Penelitian terhadap perilaku tanah dan likuefaksi secara lebih luas dapat dilakukan dengan mempertimbangkan koefisien-koefisien tanah lain yang belum dilakukan dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI-1726-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*.
- Boulanger, R. W., & Idriss, I. M. (2014). CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. *Report No. UCD/CGM.-14, 1*, 134.
- Cabalar, A. F., Canbolat, A., Akbulut, N., Tercan, S. H., & Isik, H. (2019). Soil liquefaction potential in Kahramanmaraş, Turkey. *Geomatics, Natural Hazards and Risk, 10*(1), 1822–1838.
- Chang, M., Kuo, C., Shau, S., & Hsu, R. (2011). Comparison of SPT-N-based analysis methods in evaluation of liquefaction potential during the 1999 Chi-chi earthquake in Taiwan. *Computers and Geotechnics, 38*(3), 393–406.
- Das, S., Ghosh, S., & Kayal, J. R. (2019). Liquefaction potential of Agartala City in Northeast India using a GIS platform. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 78*, 2919–2931.
- Du, G., Gao, C., Liu, S., Guo, Q., & Luo, T. (2019). Evaluation method for the liquefaction potential using the standard penetration test value based on the CPTU soil behavior type index. *Advances in Civil Engineering, 2019*(1), 5612857.
- Fajarwati, Y., & Kusuma, R. I. (2021). Analisis Potensi Likuefaksi dan Perbaikan Tanah dengan Stone Column: Studi Kasus pada Coal Shelter PLTU Lontar, Banten. *INERSIA Informasi Dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil Dan Arsitektur, 17*(1), 27–35.

- Fajarwati, Y., Wibowo, D. E., & Endaryanta, A. N. A. (2023). *Laboratory model test on the sand column for reinforcement system of flexible pavement*.
- Franke, K. W., Blonquist, J. L., He-Liang, J., Hatch, M., Coutu, T., & Arndt, A. (2019). CPTLiquefY: A new research tool for performance-based liquefaction hazard assessment using the CPT. In *Earthquake Geotechnical Engineering for Protection and Development of Environment and Constructions* (pp. 2460–2467). CRC Press.
- Hossain, A. S. M. F., & Esha, S. A. (n.d.). Soil Liquefaction Analysis of Banasree Residential Area, Dhaka Using Novoliq. *Journal of Geotechnical Studies*, 2(3).
- Iwasaki, T., Tokida, K., & Tatsuoka, F. (1981). *Soil liquefaction potential evaluation with use of the simplified procedure*.
- Johari, A., Khodaparast, A. R., & Javadi, A. A. (2019). An analytical approach to probabilistic modeling of liquefaction based on shear wave velocity. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 43, 263–275.
- Munirwan, R. P., Munirwansyah, M., Jamaluddin, K., Gunawan, H., Mubarak, A. Z., Ramadhansyah, P. J., & Youventharan, D. (2020). Liquefaction potential analysis of reuse prestress bridge in pidie jaya due to 6.4 Mw earthquake. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 712(1), 12010.
- Nisa, M. A., Satyarno, I., & Hardiyatmo, H. C. (2020). Perancangan fondasi gedung Temporary Evacuation Shelter (TES) tsunami dan gempa. *INERSIA Lnformasi Dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 16(2), 117–129.
- Soebowo, E., Tohari, A., & Sarah, D. (2009). Potensi likuifaksi akibat gempabumi berdasarkan data CPT dan N-Spt di Daerah Patalan Bantul, Yogyakarta. *Riset Geologi Dan Pertambangan-Geology and Mining Research*, 19(2), 85–97.
- Wadi, D., Wu, W., Malik, I., Ahmed, H. A., & Makki, A. (2021). Assessment of liquefaction potential of soil based on standard penetration test for the upper Benue region in Nigeria. *Environmental Earth Sciences*, 80, 1–11.
- Yudi, A., Wirawan, N. B., Fauzan, S. A., & Nadeak, R. (2019). Liquefaction Potential Based on Cone Penetration Test (CPT): Case Study in Institut Teknologi Sumatera, Lampung. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 258(1), 12018.