

HUBUNGAN KANDUNGAN BUTIRAN HALUS TANAH DAN ANALISA DISTRIBUSI BUTIRAN TANAH TERHADAP POTENSI LIKUEFAKSI

Annisa Dzunnurain¹, Hanindya Kusuma Artati²

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

² Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Article Info

Available online

Keywords:

Liquefaction, Grain Size Distribution, SPT, CRR, CSR

Corresponding Author:

Hanindya Kusuma Artati
045110407@uii.ac.id

Abstract

Liquefaction is the loss of soil strength caused by cyclic loads that occur during earthquakes, where the soil from a solid state becomes liquid due to increased water pressure, weakening the soil's binding power. This research was conducted to determine the potential for liquefaction in Banaran Village, Galur, Kulon Progo Regency, Special Region of Yogyakarta. This area has a sandy soil type and a high earthquake potential which significantly influences the occurrence of liquefaction. This research was conducted by analyzing based on the results of soil grain distribution tests, and direct shear tests, and using secondary data in the form of SPT data that previous soil mechanics laboratories had carried out. The method used to analyze the liquefaction potential is based on the Tsuchida curve (1970) using the results of grain distribution analysis and the Seed and Idris method from the SPT test results so that the value of soil resistance to liquefaction is obtained. Liquefaction potential is obtained by comparing the values of CRR (Cyclic Resistance Ratio) and CSR (Cyclic Stress Ratio). The results showed that the finer the grain content of the soil, the higher the liquefaction potential. Based on the the analysis of grain distribution using the Tsuchida curve (1970), it is known that soils that are dominantly fine-grained (silt) show the liquefaction potential, while soils that are predominantly fine sand have a high liquefaction potential. Meanwhile, based on the SPT data, the FS value ranges from 0.3 to 0.5.

*Copyright © 2023 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved*

PENDAHULUAN

Latar belakang

Yogyakarta merupakan daerah yang berpotensi bencana alam gempa bumi.

Ditinjau dari letak geografisnya, Yogyakarta berada di daerah tumpukan lempeng tektonik dan memiliki beberapa sesar aktif. Gempa bumi dapat mengakibatkan fenomena

pencairan tanah yang disebut dengan likuefaksi.

Likuefaksi merupakan peristiwa hilangnya kuat geser efektif pada tanah karena meningkatnya tegangan air pori sebagai akibat terjadinya beban gempa yang sangat cepat dan dalam waktu sesaat (Idriss dan Boulanger, 2008). Peristiwa likuefaksi pada umumnya terjadi pada konsistensi tanah granular jenuh yang lepas sampai sedang dengan sifat drainase dalam tanah. Wilayah pesisir pantai lebih rentan terjadi likuefaksi dikarenakan jenis tanah tersebut tanah berbutir halus yang mengandung banyak pasir dan air.

Distribusi ukuran butiran merupakan salah satu parameter untuk mengkaji potensi likuefaksi. Berdasarkan distribusi ukuran butiran dapat diketahui persentase butiran tanah yang lolos dan tertahan pada saringan tertentu dengan ukuran diameter lubang tertentu.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh persentase kandungan butiran halus tanah pada analisa distribusi butiran terhadap potensi likuefaksi menggunakan kurva Tsuchida dan menggunakan data SPT. Pada penelitian ini digunakan beberapa variasi campuran butiran halus tanah (tanah lanau) pada tanah pasir. Variasi tanah yang digunakan yaitu, tanah pasir, tanah lolos saringan no. 200 (tanah lanau), 90% pasir - 10% lanau, 80% pasir - 20% lanau, dan 70% pasir - 30% lanau.

Distribusi Ukuran Butiran

Hardiyatmo (2017) menyatakan bahwa analisis ukuran butiran tanah merupakan suatu penentu persentase berat butiran tanah pada satu unit saringan dengan beberapa ukuran diameter lubang tertentu. Metode ini digunakan untuk menentukan penyebaran atau distribusi butiran tanah yang memiliki ukuran lebih besar dari 0,075 mm saringan no 200. Sedangkan untuk menentukan butiran tanah yang lebih kecil dari 0,075 mm menggunakan analisa hidrometer.

Pengujian hidrometer dilakukan untuk menentukan distribusi ukuran butir-butir

tanah yang tidak mengandung butir tanah tertahan oleh saringan no 10 atau yang berukuran kurang dari 0,075 mm.

Distribusi ukuran merupakan salah satu elemen penting pada tanah granuler. Uji distribusi saringan terdiri atas analisa saringan dan uji hidrometer. Umumnya tanah bergradasi baik jika distribusi ukuran butirannya tersebar meluas (pada ukuran butirannya) (Hardiyatmo, 2017).

Analisis saringan merupakan pengujian yang bertujuan untuk menentukan persentase ukuran butir tanah pada benda uji yang tertahan saringan no 200. Dari hasil pengujian analisis saringan diperoleh nilai berat pada setiap diameter saringan yang kemudian dihitung hingga memperoleh nilai persen lolos saringan.

Ukuran butiran yang umum diperoleh antara lain D10, D15, D30, D60, dan D85. D10 Didefinisikan sebagai ukuran efektif. Parameter yang dihasilkan dari distribusi ukuran yaitu koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c) yang diberikan menurut Persamaan 3.11 berikut.

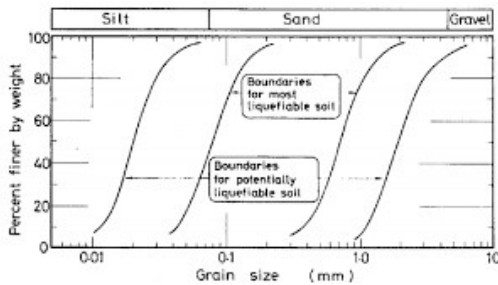
$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{30}}; C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (1)$$

dengan:

- C_u = koefisien keseragaman
- C_c = koefisien gradasi
- D = ukuran butiran

Pasir dianggap bergradasi baik jika $C_u > 6$ dan $C_c = 1-3$ dan kerikil dianggap bergradasi baik jika $C_u > 4$ dan $C_c = 1-3$ (Ameratunga, 2016).

Berdasar hasil distribusi butiran tanah Tsuchida mengusulkan batas-batas distribusi butir tanah yang peka terhadap potensi likuefaksi. Kurva ini bertujuan untuk memperkirakan kerentanan tanah terhadap potensi likuefaksi. Adapun batas-batas tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1 Kurva Distribusi Ukuran Butir
(Sumber: Tsuchida 1970)

Batas *Boundaries for most liquefiable soil* merupakan batasan tanah paling berpotensi likuefaksi karena adanya butiran halus yang menurunkan tingkat kecenderungan tanah memadat ketika mengalami getaran, butiran halus yang plastis membuat butir pasir akan menjadi lebih sulit bergerak diantara partikel sedangkan butiran halus yang tidak plastis tidak akan berpengaruh. Sedangkan, batas *boundaries for potentially liquefiable soil* merupakan Batasan untuk tanah berpotensi likuefaksi karena terdapat butiran kasar yang sehingga pada saat gempa terjadi dapat melepaskan tekanan air pori.

Tanah yang memiliki gradasi baik tidak rentan terhadap potensi likuefaksi dibandingkan dengan tanah yang memiliki gradasi buruk. Dengan adanya butiran pengisi diantara butiran kasar akan membuat tanah menjadi lebih solid dan mengurangi potensi perubahan volume tanah pada saat kondisi terdrainase sehingga tidak akan terjadi tekanan air pori berlebih.

Likuefaksi

Likuefaksi adalah hilangnya kekuatan tanah akibat kenaikan tegangan air pori dan turunnya tekanan efektif dari lapisan tanah akibat dari beban siklis dinamis. Likuefaksi dipengaruhi oleh parameter-parameter gempa yaitu magnitudo gempa, energi yang dilepas pada fokus gempa tektonik akibat deformasi lempeng, durasi/ lama gempa, dan percepatan permukaan tanah.

Srikit (2019) mengatakan pendidihan tanah pasir (*sand boil*), atau munculnya lumpur pasir di permukaan tanah, atau mungkin

ditunjukkan adanya rembesan air melalui rekahan tanah adalah kejadian likuefaksi. Akibat dari likuefaksi juga dapat menyebabkan tenggelamnya struktur bangunan serta penurunan tanah yang cukup besar. Bangunan akan miring, amblas atau bergeser ke samping kemudian bangunan tersebut akan runtuh karena hilangnya kuat geser tanah akibat likuefaksi.

Seed, dkk. (1975) mendefinisikan, bahwa likuefaksi adalah proses perubahan kondisi tanah pasir yang jenuh air menjadi cair akibat meningkatnya tekanan air pori yang harganya menjadi sama dengan tegangan total oleh sebab terjadinya beban dinamik, sehingga tegangan efektif tanah menjadi nol. Tanah yang mengalami likuefaksi akan kehilangan daya dukungnya sehingga tidak dapat menahan beban apapun yang berada di atasnya. Gempa bumi mengakibatkan tekanan air pada tanah meningkat sehingga pergerakan partikel pada tanah meningkat dengan mudah.

Pramana (2015) faktor yang mempengaruhi adanya potensi likuefaksi diperlukan pengenalan kondisi yang terdapat pada tanah sebelum terjadinya gempa. Tanah terdiri dari partikel-partikel yang menyusunnya. Jika dilihat lebih dekat maka akan terlihat bahwa setiap partikel berhubungan dengan partikel lainnya. Karena adanya gaya berat dari partikel tanah, maka terdapatlah gaya antar partikel. Gaya inilah yang membuat setiap partikel tanah dapat berada tetap pada posisinya sehingga ada yang dimaksud dengan kekuatan tanah.

Dalam menganalisis potensi likuefaksi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu tes uji laboratorium dan pendekatan perhitungan dari data tes uji lapangan. Dalam penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hasil nilai potensi likuefaksi dari hasil uji distribusi butiran tanah.

Adapun untuk menganalisis potensi likuefaksi dibutuhkan nilai rasio tegangan siklik (CSR) dan nilai rasio tahanan siklik (CRR) yang bisa didapatkan dari nilai CPT (sondir), SPT (bor dalam), V_s (shearwave velocity), dan beberapa uji tanah lainnya termasuk Becker

Penetration Test (BPT). Namun dalam penelitian ini dibatasi dengan perhitungan dari data hasil pengujian SPT.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode eksperimental yang pelaksanaannya dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia dan metode Seed&Idris untuk perhitungan analisa potensi likuefaksi.

Lokasi Penelitian

Penelitian yang dilakukan berlokasi di Desa Banaran, Kecamatan Galur, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta. Berikut merupakan gambar lokasi pengambilan sampel tanah untuk penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. berikut.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan berdasarkan beberapa tahapan yang disusun secara berurutan. Tahapan ini meliputi tahap studi literatur, pengambilan data, tahap uji dilaboratorium, tahap analisis data, tahap pembahasan dan tahap kesimpulan.

Tahap studi literatur merupakan tahapan untuk mencari dan mempelajari literatur terkait dengan topik peneliti yang telah dikerjakan oleh peneliti terdahulu. Kemudian tahap pengumpulan data, pada tahapan ini dilakukan dua pengambilan data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diambil dari Desa Banaran, Kecamatan Galur, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta. Data sekunder pada penelitian ini diambil dari hasil pengujian Laboratorium Mekanika Tanah, Universitas Islam Indonesia yang telah diuji terlebih dahulu.

Tahap uji laboratorium pada penelitian ini menggunakan data primer kemudian dilakukan pengujian analisa distribusi butiran tanah. Pada pengujian ini menggunakan variasi butiran halus tanah yaitu tanah pasir, tanah lanau, 90% pasir - 10% lanau, 80% pasir - 20% lanau, dan 70% pasir - 30% lanau. Hasil pengujian tersebut disajikan dalam bentuk grafik dan menggunakan parameter kurva Tsuchida sebagai batasan – batasan potensi likuifksi.

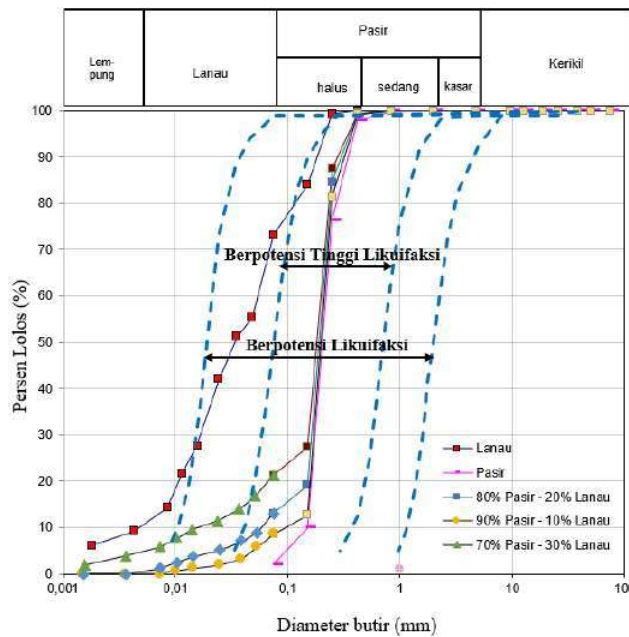
Setelah data primer tersebut dianalisis kemudian menganalisa data sekunder yaitu data hasil uji SPT (*Standard Penetration Test*). Data hasil uji SPT dianalisis menggunakan metode Seed&Idris. Pada perhitungan analisa potensi likuefaksi menggunakan data SPT perlu menggunakan aplikasi *Microsoft Excel* untuk memperhitungkan nilai CSR (*Cyclic Stress Ratio*) dan CRR (*Cyclic Resistance Ratio*)

untuk mendapatkan nilai angka keamanan (*Safety Factor*). Nilai angka keamanan didapatkan dari perbandingan nilai CRR dan CSR. Jika nilai $SF > 1$ menunjukkan bahwa tidak berpotensi likuefaksi. Jika nilai $SF < 1$ menunjukkan bahwa pada tanah tersebut berpotensi terhadap likuefaksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Potensi Likuefaksi Menggunakan Analisis Distribusi Butiran Tanah

Berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Islam Indonesia, didapatkan hasil analisa distribusi butiran tanah. Dari hasil analisa distribusi butiran didapatkan grafik perbandingan antara persen lolos saringan dengan diameter butiran yang kemudian pada hasil analisa tersebut digunakan batasan – batasan menggunakan kurva Tsuchida seperti pada Gambar 2. berikut.



Gambar 2. Grafik Hasil Analisa Distribusi Butiran Tanah

Dari Gambar 2 menunjukkan bahwa pada tanah pasir berpotensi tinggi terhadap likuefaksi, pada tanah yang variasi campuran menunjukkan bahwa berpotensi terhadap likuefaksi, dan tanah lanau cenderung tidak berpotensi likuefaksi. Sehingga semakin bertambahnya butiran halus tanah (tanah lanau) maka potensi likuefaksi semakin berkurang.

Analisa Potensi Likuefaksi Menggunakan Data SPT

Pada analisa potensi likuefaksi menggunakan data SPT ini digunakan sampel tanah pada tanah pasir dan tanah variasi campuran 90% pasir - 10% lanau, 80% pasir - 20% lanau, dan

70% pasir - 30% lanau. Analisa ini ditinjau pada kedalaman 2 meter dari muka tanah dan memiliki muka air tanah sedalam 0,5 meter. Adapun data – data yang digunakan sebagai dasar perhitungan adalah sebagai berikut

Percepatan Gravitasi (g) = 9,81 m/s^2

Berat volume tanah 1 (γ_1) = 1,808 kN/m^3

Berat volume Air (γ_w) = 9,81 kN/m^3

Kedalaman Lapisan (z_1) = 2 m

Perhitungan CSR (Cyclic Stress Ratio)

Pada perhitungan CSR digunakan metode Seed&Idris dengan persamaan sebagai berikut:

$$CSR = 0,65 \times \left(\frac{a_{max} \times \sigma_o}{g \times \sigma_o'} \right) \times r_d \quad (1)$$

dengan:

a_{max} = Percepatan tanah maksimum akibat gempa bumi (g)

g = Percepatan gravitasi (kg/cm^2)

σ_o = Tegangan overboden total (kg/cm^2)

σ_o' = Tegangan overboden efektif (kg/cm^2)

r_d = Koefisien tegangan reduksi

Pada penelitian ini nilai a_{max} didapatkan dari nilai PGA yaitu sebesar 0,53 g. Nilai tegangan *overburden* total ditinjau dari kedalaman tanah. Untuk mendapatkan nilai tersebut digunakan persamaan berikut:

$$\sigma_o = H \gamma \quad (2)$$

dengan:

H = Kedalaman (cm)

γ = Berat volume tanah (kg/cm^3)

Pada nilai tegangan overburden efektif menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma_o' = \sigma_o - u \quad (3)$$

dengan:

u = tegangan pori

Untuk mendapatkan nilai tegangan pori digunakan persamaan berikut:

$$u = H \gamma_w \quad (4)$$

dengan:

H = kedalaman muka air tanah (cm)

γ_w = Berat volume air (kg/cm^3)

Nilai koefisien reduksi ditinjau dari kedalaman tanah tersebut yaitu 2 meter. Pada kedalaman tersebut digunakan persamaan sebagai berikut:

$$r_d = 1,0 - 0,00765 \times z \quad (5)$$

Dengan z merupakan kedalaman tanah yang ditinjau (m).

Dari persamaan – persamaan di atas, didapatkan nilai CSR pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa semakin besar nilai nilai kandungan butiran halus tanah (tanah lanau) maka semakin meningkat nilai CSR.

Tabel 1 Rekapitulasi Parameter Perhitungan CSR

Jenis Tanah	γ (kg/cm^3)	γ_w (kg/cm^3)	σ_o (kg/cm^2)	u
Kondisi Lapangan	0,0018	0,00098	0,362	0,1472
100 % Pasir – 0% Lanau	0,0016	0,00098	0,318	0,1472
90% Pasir - 10% Lanau	0,0012	0,00098	0,240	0,1472
80% Pasir - 20% Lanau	0,0016	0,00098	0,318	0,1472
70% Pasir - 30% Lanau	0,0016	0,00098	0,315	0,1472

Tabel 2 Rekapitulasi Perhitungan CSR

Jenis Tanah	σ_o' (kg/cm ²)	R_d	CSR (Seed&Idriss)
Kondisi Lapangan	0,2145	0,985	0,568
100 % Pasir – 0% Lanau	0,1709	0,985	0,627
90% Pasir - 10% Lanau	0,0926	0,985	0,626
80% Pasir - 20% Lanau	0,1711	0,985	0,632
70% Pasir - 30% Lanau	0,1680	0,985	0,641

Perhitungan CRR (Cyclic Resistance Ratio)

Pada perhitungan CRR digunakan beberapa persamaan berikut:

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

dengan:

$(N_1)_{60cs}$ = Nilai N_1 60 terkoreksi

Untuk mendapatkan nilai $(N_1)_{60cs}$ dihitung dengan persamaan berikut:

$$(N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60} \quad (7)$$

dengan:

$(N_1)_{60}$ = Nilai faktor terkoreksi

$\Delta(N_1)_{60}$ = Nilai selisih faktor terkoreksi

Nilai faktor terkoreksi dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$(N_1)_{60} = Nm \times CN \times CE \times CB \times CR \times CS \quad (8)$$

dengan:

- Nm : Hasil uji SPT di lapangan
- CN : Faktor koreksi terhadap tegangan vertikal efektif (nilainya $\leq 1,7$)
- CE : Faktor rasio tenaga
- CB : Faktor diameter lubang
- CR : Faktor panjang rod
- CS : Faktor metode sampling

Diketahui:

- CE = 0,8
- CB = 1,05
- CR = 0,75
- CS = 1

Pada nilai CN digunakan persamaan sebagai berikut:

$$CN = \frac{2,2}{\left(1,2 + \left(\frac{\sigma'}{Pa} \right) \right)} \quad (9)$$

dengan:

- σ' = Tegangan efektif (kg/cm²)
- Pa = 100 Kpa

Dari persamaan – persamaan diatas didapatkan nilai CRR pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut.

Tabel 3 Rekapitulasi Perhitungan Parameter CRR

Jenis Tanah	γ (kg/cm ³)	γ_w (kg/cm ³)	σ_o (kg/cm ²)	u
Kondisi Lapangan	0,0018	0,000981	0,362	0,1472
100 % Pasir – 0% Lanau	0,0016	0,000981	0,318	0,1472
90% Pasir - 10% Lanau	0,0012	0,000981	0,240	0,1472
80% Pasir - 20% Lanau	0,0016	0,000981	0,318	0,1472
70% Pasir - 30% Lanau	0,0016	0,000981	0,315	0,1472

Tabel 4 Rekapitulasi Perhitungan CRR

Jenis Tanah	σ'_0 (kg/cm ²)	Rd	CSR (Seed&Idriss)
Kondisi Lapangan	0,2145	0,985	0,568
100 % Pasir – 0% Lanau	0,1709	0,985	0,627
90% Pasir - 10% Lanau	0,0926	0,985	0,626
80% Pasir - 20% Lanau	0,1711	0,985	0,632
70% Pasir - 30% Lanau	0,1680	0,985	0,641

Dari hasil perhitungan nilai CRR didapatkan bahwa semakin besar kandungan butiran halus tanah (tanah lanau) maka semakin meningkat nilai CRR.

Perhitungan Nilai Angka Keamanan (Safety Factor)

Nilai FS atau angka keamanan digunakan untuk menentukan potensi terjadinya likuefaksi atau tidak pada lokasi penelitian dengan cara membandingkan nilai CRR dan CSR. Adapun contoh perhitungan dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$SF = \frac{CRR}{CSR} \quad (11)$$

Jika $FS = \frac{CRR}{CSR} < 1$ berpotensi likuefaksi (12)

Jika $FS = \frac{CRR}{CSR} = 1$ kondisi kritis terhadap likuefaksi (13)

Jika $FS = \frac{CRR}{CSR} > 1$ tidak berpotensi likuefaksi (14)

Sehingga didapatkan nilai angka keamanan pada setiap variasi sampel tanah dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Rekapitulasi Perhitungan Angka Keamanan (SF)

Jenis Tanah	CSR	CRR	SF	Keterangan
Kondisi Lapangan	0,568	0,25	0,444	Berpotensi Likuefaksi
100 % Pasir - 0% Lanau	0,627	0,26	0,420	Berpotensi Likuefaksi
90% Pasir - 10% Lanau	0,626	0,26	0,422	Berpotensi Likuefaksi
80% Pasir - 20% Lanau	0,632	0,45	0,706	Berpotensi Likuefaksi
70% Pasir - 30% Lanau	0,641	0,45	0,710	Berpotensi Likuefaksi

Dari Tabel 3 di atas menunjukkan bahwa semakin besar kandungan butiran halus tanah (tanah lanau) maka nilai angka keamanan semakin meningkat. Sehingga jika nilai angka keamanan semakin meningkat maka semakin kecil potensi likuefaksinya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil data, analisis, dan pembahasan, maka dapat disimpulkan hasil dari penelitian ini. Adapun Simpulan dari penelitian ini ialah sebagai berikut.

1. Hasil analisa distribusi butiran tanah menggunakan batasan kurva Tsuchida menunjukkan bahwa tanah pasir berpotensi tinggi terhadap likuefaksi, pada tanah yang variasi campuran menunjukkan bahwa berpotensi terhadap likuefaksi, dan tanah lanau cenderung tidak berpotensi likuefaksi. Sehingga semakin bertambahnya butiran halus tanah (tanah lanau) maka potensi likuefaksi semakin berkurang.

2. Pada analisa potensi likuefaksi menggunakan data SPT menunjukkan bahwa semakin banyak kandungan butiran halus tanah (tanah lanau) maka nilai CSR dan nilai CRR meningkat. Sehingga nilai SF meningkat ketika kandungan butiran halus tanah (tanah lanau) semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, B. M., Endah, N., & Mochtar, I. B. (1995). *Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Erlangga, Jakarta.
- Deo, Prayitno, P., & Artati, H. K. (2021). Analisis Potensi Likuefaksi Berdasarkan Distribusi Ukuran Butir Tanah dan Data Cone Penetration Test (CPT). In *Media Komunikasi Teknik Sipil* (Vol. 27, Issue 2).
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I Jilid III*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hasbi, Y. (2021). *Analisis Potensi Likuefaksi Berdasarkan Data Spt Dan Cpt (Liquifaction Potential Analysis Based On Spt And Cpt Data)*.
- Herawati, F., Yusa, M., & Putra, A. I. (2020). Analisis Potensi Likuefaksiberdasarkan Data Conepenetration Testdengan Metode Shibata Dan Teparaksa(Studi Kasus: Sekolah Al-Azhar Pekanbaru). *Jom FTEKNIK Volume 7Edisi 2 Juli s/d Desember 2020*.
- Ishii, K., Liu, W., Shigemura, S., & Kamao, S. (2022). Relationship Between Liquefaction Strength of Sand With Fine Fraction and Various Void Ratios. *International Journal of GEOMATE*, 22(91), 1–7.
- Mase, L. Z. (2014). *Analisis Pendahuluan Potensi Likuefaksi di Kali Opak Imogiri Daerah Istimewa Yogyakarta*.
- Mina, E., & Indera, R. (2018). Analisa Potensi Likuefaksi Berdasarkan Data Spt (Studi Kasusproyek Pembangunan Gedung Baru Untirta Sindang Sari). In *Jurusan Teknik Sipil Universitas Sultan Ageng Tirtayasa* | (Vol. 7, Issue 1).
- Monkul, M. M., Etminan, E., & Şenol, A. (2016). Influence of coefficient of uniformity and base sand gradation on static liquefaction of loose sands with silt. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 89, 185–197.
- Musa Sjahrain, U., Rondonuwu, S. G., & Riogilang, H. (2021). Analisis Potensi Likuefaksi Dengan Menggunakan Parameter Kuat Geser Tanah Lempung. In *Jurnal Ilmiah Media Engineering* (Vol. 11, Issue 3).
- Oka, F. (1995). "Soil Mechanics Lecture", Morikita Publishing Company, Tokyo, Japan.
- Siahaan, S. P. O. (2015). *Percobaan Potensi Likuefaksi Pada Tanah Pasir Seragam Dengan Permodelan Alat Di Laboratorium*.
- Tsuchida, H. (1970). Prediction and Countermeasure against Liquefaction in Sand Deposits, Abstract of the Seminar of the Port and Harbour ResearchInstitute, Ministry of Transport, Yokosuka, Japan, pp.