

Evaluasi Risiko Likuifaksi Berdasarkan Karakteristik Ukuran Butir Tanah dan Hasil Tahanan Standart Penetration Test (N-SPT) Studi kasus Bandara Yogyakarta Internasional Airport

Evaluation of Liquefaction Risk Based on Soil Grain Size Characteristics and Resistivity Results Standard Penetration Test (N-SPT) Yogyakarta International Airport Case Study

Nur Ayu Diana^{1,2}, Ria Asih Aryani Soemitro¹, Januarti Jaya Ekaputri¹, Trihanyndio Rendy Satrya¹, Dwa Desa Warnana¹

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Keputih, Sukolilo, Surabaya East Java, Indonesia 60111

²Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra

Jl. Tentara Rakyat Mataram No.55-57, Bumijo, Kec. Jetis, Kota Yogyakarta, D.I Yogyakarta 55231

Email: ria@ce.its.ac.id

Abstrak

Salah satu bentuk kerusakan pada struktur tanah adalah likuifaksi, di mana tanah berubah dari keadaan padat menjadi cair karena tekanan air pori meningkat dan tekanan efektif tanah menurun akibat beban siklis dinamis. Efeknya bisa sangat signifikan terutama pada tanah berpasir yang sudah jenuh. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemungkinan likuifaksi berdasarkan data N-SPT serta mengidentifikasi hubungan antara karakteristik tanah dan gempa terhadap risiko likuifaksi. Penelitian dilakukan di area *Yogyakarta International Airport* (YIA). Metode analisis potensi likuifaksi dimulai dengan menggunakan persamaan dari *National Center For Earthquake Engineering Research* (NCEER) USA, yang menggunakan data N-SPT untuk menilai potensi likuifaksi secara deterministik menggunakan rasio tahanan siklik tanah (CRR), rasio tekanan siklik beban gempa (CSR), dan koefisien variansi dari kedua rasio tersebut. Hasil analisis menunjukkan bahwa area penelitian memiliki potensi tinggi untuk likuifaksi terdapat pada permukaan tanah hingga pada kedalaman data SPT 15 m. Korelasi antara parameter tanah menunjukkan bahwa peningkatan nilai N-SPT berhubungan dengan peningkatan nilai CRR, namun peningkatan nilai CRR. Selain itu, peningkatan magnitudo gempa berhubungan dengan peningkatan potensi likuifaksi, dimana pada magnitudo gempa 6,5 SR, nilai CRR lebih besar dibandingkan pada magnitudo 7,5 SR dan 8,5 SR. Semakin besar nilai CRR, semakin kecil potensi likuifaksi.

Kata Kunci: CRR; CSR; Likuifaksi; N-SPT; YIA

Abstract

The occurrence of earthquakes has the potential to damage both building structures and soil structures. One form of damage to soil structures is liquefaction, wherein the soil transitions from a solid to a liquid state due to increased pore water pressure and decreased effective stress from dynamic cyclic loading. The effect can be particularly significant, especially in saturated sandy soils. This research aims to assess the likelihood of liquefaction based on N-SPT data and to identify the relationship between soil characteristics and earthquakes concerning liquefaction risk. The study was conducted at Yogyakarta International Airport (YIA). The method for analyzing liquefaction potential begins by utilizing equations provided by the National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER) in the USA, which utilizes N-SPT data to assess liquefaction potential deterministically. The method incorporates the cyclic resistance ratio (CRR), cyclic stress ratio (CSR), and the coefficient of variance of both ratios. The results of the analysis indicate that the research area has a high potential for liquefaction at depths 15 m. The correlation between soil parameters reveals that an increase in N-SPT values is associated with an increase in CRR values, however, an increase in CRR values. Additionally, an increase in earthquake magnitude is associated with an increase in liquefaction potential, where at an earthquake

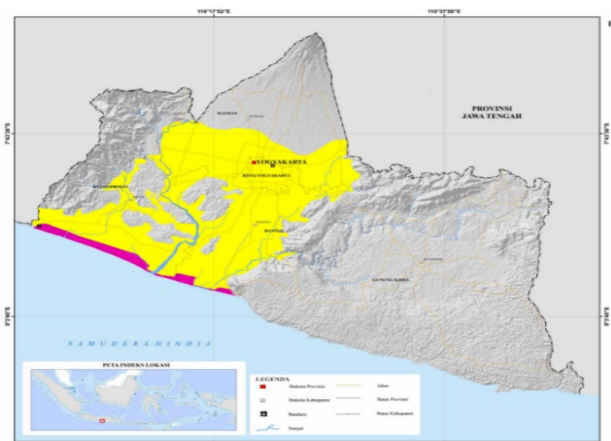
magnitude of 6.5 SR, the CRR value is greater compared to earthquake magnitudes of 7.5 SR and 8.5 SR. A higher CRR value corresponds to a lower liquefaction potential.

Keywords: CRR; CSR; Liquefaction; N-SPT; YIA

PENDAHULUAN

Kawasan pesisir pantai selatan Yogyakarta merupakan kawasan rawan bencana dilihat dari historical, hal ini juga dibuktikan dengan gambaran peta zona kerentanan likuifaksi pada Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang ditandai dengan warna kuning yang artinya zona kerentanan likuifaksi sedang, sedangkan zona yang ditandai dengan warna ungu di wilayah pesisir pantai selatan Yogyakarta artinya zona dengan kerentanan likuifaksi tinggi yang dapat dilihat pada gambar 1 yang merupakan peta zona kerentanan likuifaksi pada Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

Perkembangan infrastruktur, tempat wisata dan juga permukiman kini mulai banyak di jumpai di sepanjang pesisir pantai Yogyakarta apalagi setelah dibangunnya Bandara Yogyakarta Internasional Airport yang berlokasi dekat dengan pantai selatan Yogyakarta. Hal ini menimbulkan ide bagaimana melakukan stabilisasi dan perkuatan tanah potensi likuifaksi di pesisir pantai dengan kandungan salinitas yang tinggi supaya tanah menjadi stabil dan mengurangi karakteristik dari tanah yang potensi likuifaksi.



Gambar 1. Peta zona kerentanan likuifaksi pada Provinsi DI Yogyakarta

Sumber : Kementrian Energi dan Sumber daya Mineral Badan Geologi, 2019

Telah dilakukan berbagai penelitian mengenai potensi likuifaksi, termasuk oleh (Gautam et al., 2017; Pramono et al., 2014; Prayitno & Artati, 2021) yang mengeksplorasi potensi likuifaksi di pantai Padang melalui analisis gradasi butiran. Mereka menemukan bahwa tanah yang berpotensi

terlikuifaksi umumnya memiliki lebih dari 60% pasir halus, kurang dari 20% lolos saringan nomor 200, dan median ukuran butir (D_{50}) antara 0,15 mm hingga 0,35 mm. Selain itu, berdasarkan metode Seed & Idriss (1971), likuifaksi cenderung terjadi pada lapisan tanah pasir antara kedalaman 4 m dan 12 m. (García et al., n.d.; Herina, 2010; Pramono et al., 2014) juga menyelidiki pengaruh ukuran butir pada kekuatan likuifaksi tanah pasir dengan menggunakan uji triaksial siklik *consolidated undrained* (CU), menemukan bahwa pasir halus lebih rentan terhadap likuifaksi dibandingkan pasir sedang dan alami, karena likuifaksi terjadi pada siklus yang lebih sedikit.

Detail lokasi penelitian bisa dilihat pada gambar 2, berada di Pantai Congot dan Bandara Yogyakarta Internasional Airport, Kulon Progo, D.I Yogyakarta.



Gambar 2. Peta lokasi pengambilan sampel penelitian

Sumber :

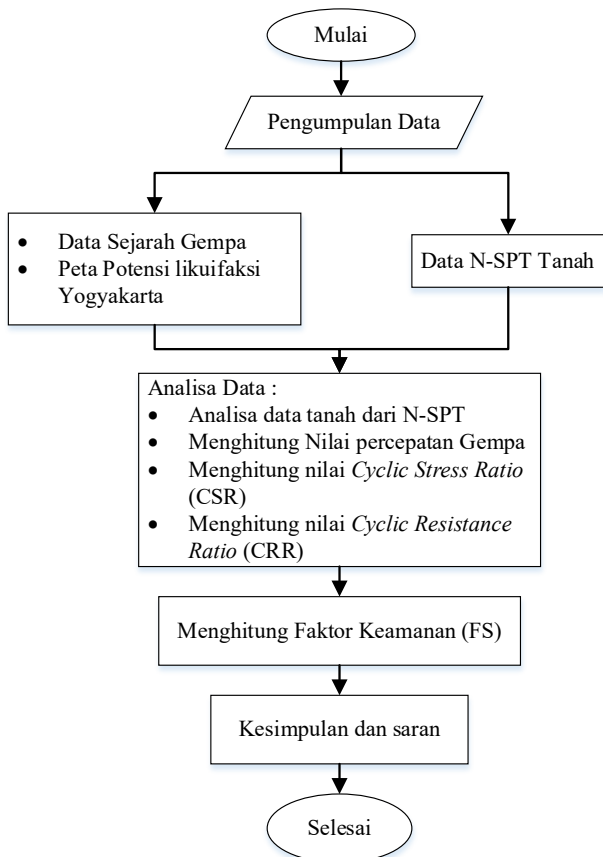
(<https://www.openstreetmap.org/note/2844233#map=14/-7.8975/110.0714&layers=N>)

Dalam konteks kota Padang, Sabri (2020) mengkaji likuifaksi berdasarkan data *cone penetration test* (CPT), menganalisis faktor-faktor seperti *earthquake-induced cyclic stress ratio* (CSR) dan *cyclic resistance ratio* (CRR) menggunakan metode Idriss & Boulanger, serta mempertimbangkan settlement berdasarkan teori (Pramono et al., 2014). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kota Padang sangat rentan terhadap likuifaksi dengan rata-rata penurunan tanah antara 20 cm hingga 60 cm, serta nilai LPI rata-rata di atas 30 yang mengindikasikan risiko likuifaksi yang sangat tinggi.

Di Kabupaten Bantul, penelitian oleh (Prayitno & Artati, 2021) mengungkap bahwa kawasan tersebut mengandung endapan pasir dengan kohesi rendah dan sudut gesek tinggi hingga kedalaman 30 meter. Hal ini menunjukkan potensi likuifaksi yang signifikan di Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) dalam kondisi tanah jenuh. Kesemua temuan ini mendorong kebutuhan untuk mengevaluasi lebih lanjut potensi likuifaksi di kawasan Bandara YIA, yang memiliki risiko gempa tinggi dan karakteristik tanah berpasir. Evaluasi ini akan berbasis pada distribusi ukuran butir tanah dan data CPT.

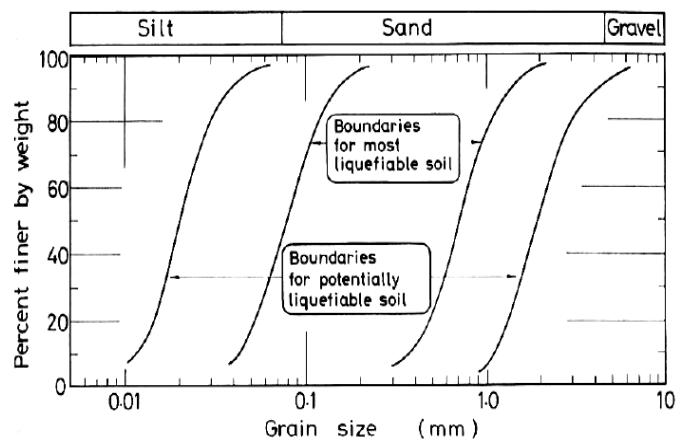
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap yang meliputi Pengumpulan data, Analisis potensi likuifaksi berdasarkan distribusi ukuran butir tanah, dan Analisis potensi likuifaksi menggunakan data SPT. Dalam penelitian ini, data yang digunakan terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dari grafik distribusi ukuran butir tanah yang hasil dari analisis saringan dan hidrometer di laboratorium, dengan sampel tanah diambil dari kawasan Bandara YIA. Data sekunder melibatkan data SPT yang diperoleh dari Bandara YIA. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Tsucida pada tahun 1970 menyusun hasil analisis saringan dari berbagai tanah endapan alluvial dan diluvial yang telah mengalami atau tidak mengalami likuifaksi selama gempa bumi. Berdasarkan hasil tersebut, Tsucida (1970) mengusulkan sebuah kurva yang menunjukkan rentang ukuran butir tanah yang bisa atau tidak bisa mengalami likuifaksi, seperti yang terlihat pada Gambar 4. Menurut Tsucida, wilayah yang berada di antara dua kurva lebih dalam menggambarkan pasir dan pasir lanauan, yang menunjukkan tanah dengan tingkat resistensi terhadap likuifaksi yang paling rendah. Tanah dengan kurva gradasi yang berada di zona antara dua kurva, yang terluar dan yang paling dalam, cenderung kurang mengalami likuifaksi.



Gambar 4. kurva gradasi butiran tanah terlikuifaksi
Sumber : Tsucida, 1970

Metode evaluasi likuifaksi

Dalam penelitian ini dilakukan analisis potensi likuifaksi dengan metode probabilistik prosedur sederhana (*simplified procedure*) berdasarkan data uji N-SPT. Adapun tahapan dan cara yang akan dilakukan dalam analisis ini adalah sebagai berikut.

Perhitungan Potensi Likuifaksi Metode Determinan

Potensi likuifaksi berdasarkan data CPT secara umum dilakukan dengan menganalisis nilai CSR dan CRR sehingga didapat nilai FS suatu lapisan tanah yang kemudian dapat digunakan untuk menentukan tingkat potensi likuifaksi dengan menentukan nilai LPI. CSR merupakan nilai tegangan geser yang umumnya diakibatkan oleh beban siklik dari guncangan gempa bumi. (Hasibuan

& Ismaili, 2019; Tandirerung, 2017; Tijow et al., 2018) telah memformulasikan persamaan untuk perhitungan CSR yang dapat dilihat pada Persamaan 1 dan 2.

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{rv}} = 0,65 \frac{\tau_{max}}{\sigma'_{rv}} = 0,65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_{rv}} \right) rd \dots\dots [1]$$

Kemampuan tanah untuk menahan likuifaksi atau *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dapat ditentukan berdasarkan data hasil uji. Nilai CRR bergantung dari data hasil uji seperti hasil uji CPT atau SPT karena pada umumnya berkorelasi dengan parameter in situ, seperti nilai penetrasi resisten CPT, jumlah pukulan SPT, atau kecepatan gelombang geser (VS) (Prayitno & Artati, 2021).

Jika nilai tahanan tanah terhadap likuifaksi atau *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) lebih besar dari pembebanan yang terjadi atau *Cyclic Stress Ratio* (CSR) maka tanah aman dari likuifaksi. Namun apabila nilai CRR lebih kecil dari CSR maka tanah tidak aman dari likuifaksi (Hsein Juang et al., 2018; HUTAGALUNG & TARIGAN, 2019).

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N1)60cs} + \frac{(N1)60cs}{135} + \frac{50}{[10 \times (N1)60cs + 45]^2} - \frac{1}{200} \dots\dots\dots [2]$$

Nilai Factor Safety (FS)

Nilai FS merupakan nilai hasil perbandingan antara nilai tegangan geser akibat beban siklik dengan nilai tahanan lapisan tanah, sehingga diperoleh prediksi keamanan suatu lapisan tanah yang dilihat pada Persamaan 3.

$$FS = CRR/CSR \dots\dots\dots [3]$$

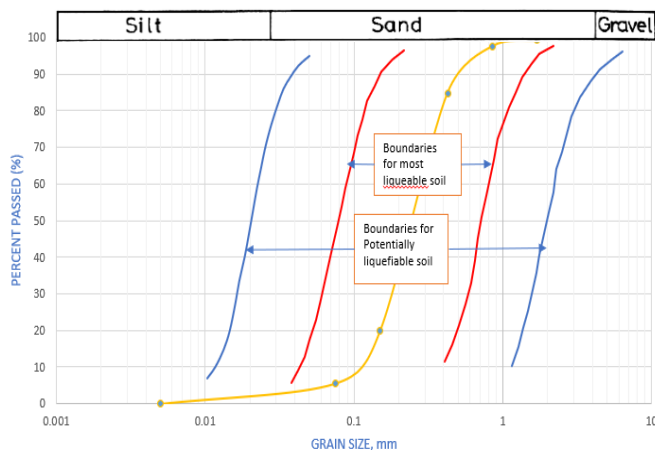
Dengan $FS < 1$ (berpotensi likuifaksi), $FS = 1$ (kondisi kritis), dan $FS > 1$ (tidak berpotensi likuifaksi)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi likuifaksi berdasarkan distribusi ukuran butir tanah

Potensi likuifaksi berdasarkan distribusi ukuran butir tanah ditentukan dengan melakukan pengujian berupa analisis saringan di laboratorium dengan menggunakan sampel tanah yang diambil pada dua titik di kawasan Bandara Yogyakarta

Internasional Airport dengan titik lokasi - 7.8971800, 110.0605500. Berdasarkan grafik distribusi butiran yang telah di plotkan kedalam kurva Tsuchida (1970) maka diperoleh hasil bahwa tanah sampel Titik dominan mengandung pasir-lanau, serta memiliki ukuran butiran yang berada di dalam batasan zona berpotensi likuifaksi (Diana et al., 2024).



Gambar 5. Kurva potensi likuifaksi berdasarkan ukuran butir tanah

Sumber : Hasil penelitian, 2023

Analisis Likuifaksi Metode Determinan

Analisis ini bertujuan untuk menemukan potensi kejadian likuifaksi dengan memanfaatkan nilai FS (*Factor of Safety*) sesuai dengan metode yang disarankan oleh *National Centre For Earthquake Engineering Research* (NCEER). FS adalah perbandingan antara CSR (*cyclic stress ratio*) dan CRR (*cyclic resistance ratio*), yang akan digunakan sebagai parameter dalam menganalisis kemungkinan likuifaksi pada tahap berikutnya (Ansori, 2020; Ikhsan, 2011; Yudi, 2021).

Cylic Resistance Ratio dan Cylic Stress Ratio

Menilai kemungkinan terjadinya likuifaksi, diperlukan penghitungan rasio tegangan siklik (CSR) dan rasio tahanan siklik (CRR). Informasi ini bisa didapatkan dari hasil uji CPT (penetrasi konus), SPT (ujian palu dalam), Vs (kecepatan gelombang geser), dan sejumlah tes tanah lainnya, termasuk Uji Penetrasi Becker (BPT). Tetapi, dalam penelitian ini, penekanannya ada pada analisis yang menggunakan data dari uji SPT.

Gempa dengan magnitudo $M = 7,5$ dianggap sebagai gempa (Tijow et al., 2018), yang

mengindikasikan perlunya penyesuaian untuk gempa dengan magnitudo yang lebih rendah atau lebih tinggi dari 7,5. Untuk menghitung CRR dengan besar magnitudo jgempa selain 7,5, diperlukan faktor koreksi yang disebut *Magnitude Scale Factor* (MSF). Seed (1983) memberikan persamaan, yaitu :

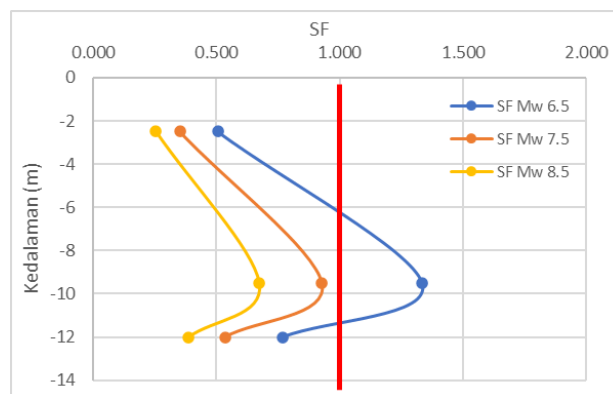
$$CRR_{MW} = CRR_{7.5} * MSF * K_{\sigma} * K_{\alpha} \dots\dots\dots [4]$$

Perhitungan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dan *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dilakukan pada setiap kedalaman dimana nilai N-SPTnya diketahui. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa besarnya nilai CSR tersebar secara acak pada setiap kedalaman tanpa pola tertentu sehingga besarnya CRR juga acak bervariasi dan berbeda sesuai dengan magnitudo gempanya (Atangana Njock et al., 2020; Emanuela, 2019; Hakam & Suhelmidawati, 2013). Magnitude gempa yang dipolakan pada penelitian ini dilakukan dengan perhitungan nilai CRR_{6.5}, CRR_{7.5}, dan CRR_{8.5}, hal ini dipilih dengan menyesuaikan magnitudo gempa yang pernah terjadi secara historical di Bantul, Yogyakarta. Rekapitulasi analisis potensi likuifaksi dengan metode determinan dapat dilihat dalam tabel 1.

Hubungan nilai N-SPT terhadap potensi likuifaksi dari hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan nilai N-SPT akan berkorelasi dengan penurunan nilai potensi likuifaksi. Penambahan nilai N-SPT terkoreksi ((N1)_{60cs}) yang pada penelitian berkisar antara 4.57 sampai 26.27 berkorelasi dengan meningkatnya nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dengan rentang nilai 0,05 sampai 0,4601. Selanjutnya penambahan nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) menyebabkan penurunan nilai probabilitas likuifaksi.

Dari hasil perhitungan tabel diatas menunjukkan bahwa setiap lapisan tanah terhadap variasi magnitudo gempa, bisa dilihat bahwa semakin kecil nilai Magnitude gempa maka nilai potensi likuifaksinya akan semakin kecil seiring dengan bertambahnya besaran skala magnitude gempa yang terjadi.

Berdasarkan hasil dari penilaian CSR dan CRR, kita bisa menentukan apakah tegangan geser (CSR) yang terjadi lebih besar dari tahanan lapisan tanah (CRR) atau sebaliknya. Jika CSR melebihi CRR, maka nilai Faktor Keamanan (FS) akan kurang dari 1, yang mengindikasikan bahwa lapisan tanah mungkin mengalami likuifaksi. Sebaliknya, jika CSR lebih kecil dari CRR, maka nilai FS akan lebih dari 1, menunjukkan bahwa lapisan tanah tidak cenderung mengalami likuifaksi. Analisis potensi likuifaksi dilakukan berdasarkan data N-SPT tergambar pada Gambar 6 hingga 13.



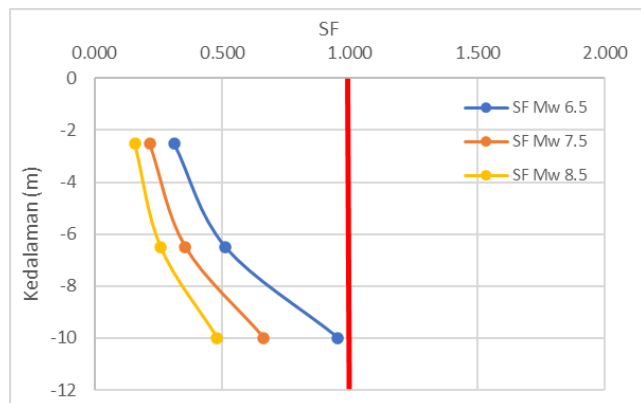
Gambar 6. Potensi likuifaksi di titik BH 01
Sumber : Hasil penelitian, 2023

Tabel 1. Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi dengan Metode Determinan

Titik Bor	Lapisan	H (m)	h	Jenis Tanah	Gs	amax/g	N-SPT		MSF	Density			rd	σ ₀	σ ₀ '	CSR	(N1) _{60cs}	(N1) _{60cs}	CRR 6.5	SF	Cek Metode Determinan		CRR 7.5	SF	Cek Metode Determinan		CRR 8.5	SF	Cek Metode Determinan	
							Blow	cm		ρ _d (kN/m ³)	ρ _{sat} (kN/m ³)	ρ _s									ρ _w	ρ _a			CRR 6.5	SF			CRR 7.5	SF
BH 01 A	1	2.5	2.5	Pasir	3.36	0.55	10	30	1	15.22	19.72	0.981	49.3	49.3	0.357	11.42	11.42	0.1813	0.507	LIKUIFAKSI	0.1259	0.352	LIKUIFAKSI	0.0914	0.256	LIKUIFAKSI				
	2	9.5	7	Pasir	3.09	0.55	23	30	1	15.22	19.72	0.946	138	138	0.345	26.27	26.27	0.4601	1.334	LIKUIFAKSI	0.3195	0.926	LIKUIFAKSI	0.2319	0.672	LIKUIFAKSI				
BH 02 A	1	2.5	2.5	Pasir	3.26	0.55	5	30	1	13.63	14.04	0.981	49.3	35.1	0.357	5.71	5.71	0.1115	0.312	LIKUIFAKSI	0.0775	0.217	LIKUIFAKSI	0.0562	0.157	LIKUIFAKSI				
	2	6.5	4	Pasir	3.52	0.55	10	30	1	13.63	14.04	0.969	56.16	56.16	0.353	11.42	11.42	0.1813	0.513	LIKUIFAKSI	0.1259	0.356	LIKUIFAKSI	0.0914	0.259	LIKUIFAKSI				
BH 07 A	1	2	2	Pasir	3.08	0.55	11	30	1	13.8	14.42	0.985	28.08	28.84	0.359	12.56	12.56	0.1965	0.548	LIKUIFAKSI	0.1364	0.380	LIKUIFAKSI	0.099	0.276	LIKUIFAKSI				
	2	9.5	7.5	Pasir	3.13	0.55	21	30	1	13.8	14.42	0.943	108.2	108.2	0.344	23.99	23.99	0.3934	1.145	LIKUIFAKSI	0.2732	0.795	LIKUIFAKSI	0.1983	0.577	LIKUIFAKSI				
BH 08 A	1	2.5	2.5	Pasir	3.29	0.55	7	30	1	13.04	13.04	0.981	36.05	32.6	0.357	8.00	8.00	0.1381	0.386	LIKUIFAKSI	0.0959	0.268	LIKUIFAKSI	0.0696	0.195	LIKUIFAKSI				
	2	8.5	6	Pasir	3.34	0.55	16	30	1	13.04	13.04	0.954	78.24	78.24	0.348	18.28	18.28	0.2807	0.807	LIKUIFAKSI	0.1949	0.561	LIKUIFAKSI	0.1415	0.407	LIKUIFAKSI				
BH 10 A	1	1.55	1.55	Pasir berlanau	2.58	0.55	11	30	1	12.43	18.3	0.988	20.21	28.37	0.36	12.56	12.56	0.1965	0.546	LIKUIFAKSI	0.1364	0.379	LIKUIFAKSI	0.099	0.275	LIKUIFAKSI				
	2	3	1.45	Pasir	3.04	0.55	15	30	1	12.43	18.3	0.989	26.54	26.54	0.36	17.13	17.13	0.2625	0.728	LIKUIFAKSI	0.1823	0.506	LIKUIFAKSI	0.1323	0.367	LIKUIFAKSI				
BH 14 A	1	6.5	3.5	Pasir	2.94	0.55	17	30	1	12.43	18.3	0.973	64.05	64.05	0.355	19.42	19.42	0.2999	0.846	LIKUIFAKSI	0.2083	0.587	LIKUIFAKSI	0.1512	0.426	LIKUIFAKSI				
	2	2.5	2.5	Pasir	3.26	0.55	8	30	1	14.06	19.98	0.981	45.75	49.95	0.357	9.14	9.14	0.1521	0.425	LIKUIFAKSI	0.1056	0.295	LIKUIFAKSI	0.0766	0.214	LIKUIFAKSI				
BH 19 A	1	2.5	5	Pasir	3.36	0.55	10	30	1	14.06	19.98	0.962	99.9	99.9	0.35	11.42	11.42	0.1813	0.517	LIKUIFAKSI	0.1259	0.359	LIKUIFAKSI	0.0914	0.261	LIKUIFAKSI				
	2	2.5	2.5	Pasir	3	0.55	5	30	1	14.47	19.23	0.981	49.95	48.08	0.357	5.71	5.71	0.1115	0.312	LIKUIFAKSI	0.0775	0.217	LIKUIFAKSI	0.0562	0.157	LIKUIFAKSI				
	3	10.5	8	Pasir	2.88	0.55	12	30	1	14.47	19.23	0.939	153.8	153.8	0.342	13.71	13.71	0.2121	0.620	LIKUIFAKSI	0.1473	0.431	LIKUIFAKSI	0.1069	0.313	LIKUIFAKSI				
	4	12.5	2	Pasir	3.01	0.55	15	30	1	14.47	19.23	0.985	38.46	46.39	0.359	17.13	17.13	0.2625	0.731	LIKUIFAKSI	0.1823	0.508	LIKUIFAKSI	0.1323	0.369	LIKUIFAKSI				
BH 20 A	1	4.65	4	Pasir	3.91	0.55	23	30	1	14.47	19.23	0.969	76.92	76.92	0.353	26.27	26.27	0.4601	1.302	LIKUIFAKSI	0.3195	0.904	LIKUIFAKSI	0.2319	0.657	LIKUIFAKSI				
	2	8.5	3.5	Pasir	3.42	0.55	4	30	1	15.51	19.5	0.973	67.31	68.25	0.355	4.57	4.57	0.0992	0.280	LIKUIFAKSI	0.0689	0.194	LIKUIFAKSI	0.05	0.141	LIKUIFAKSI				
BH 20 A	1	8.5	5	Pasir	2.83	0.55	9	30	1	15.51	19.5	0.962	97.5	97.5	0.35	10.28	10.28	0.1665	0.475	LIKUIFAKSI	0.1156	0.330	LIKUIFAKSI	0.0839	0.239	LIKUIFAKSI				

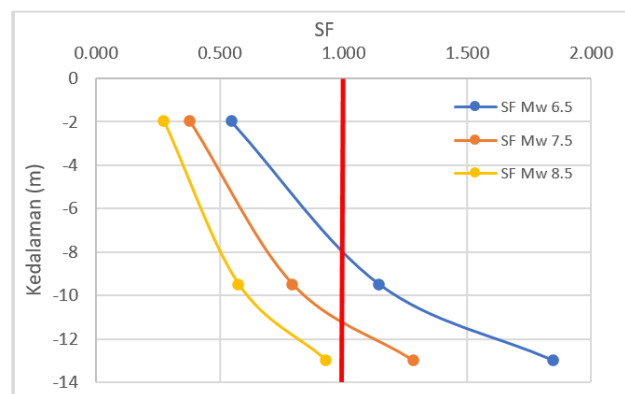
Sumber : Hasil penelitian, 2023

Gambar 6 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di titik BH 01 dengan skala magnitudo 6.5, 7.5 dan 8.5 terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 12 m. Sedangkan dengan skala magnitudo 6.5 potensi likuifaksi terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 6 m, kemudian dilanjutkan pada kondisi aman pada kedalaman 6-11.5 m, dan setelah itu kondisi aman sampai kedalaman 11 m dan keadaan likuifaksi pada kedalaman lebih dari 11 m.



Gambar 7. Potensi likuifaksi di titik BH 02
Sumber : Hasil penelitian, 2023

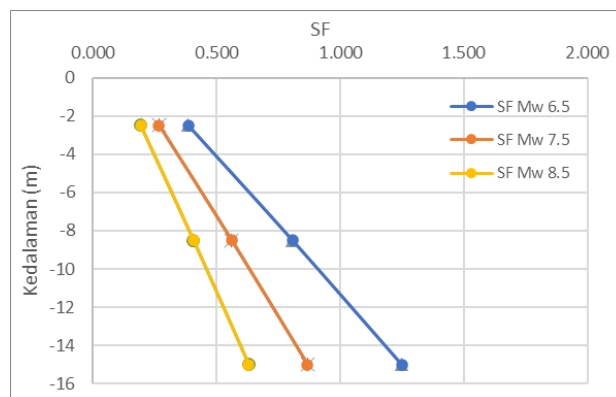
Gambar 7 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di titik BH 02 dengan skala magnitudo 6.5, 7.5 dan 8.5 terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 10 m.



Gambar 8. Potensi likuifaksi di titik BH 07
Sumber : Hasil penelitian, 2023

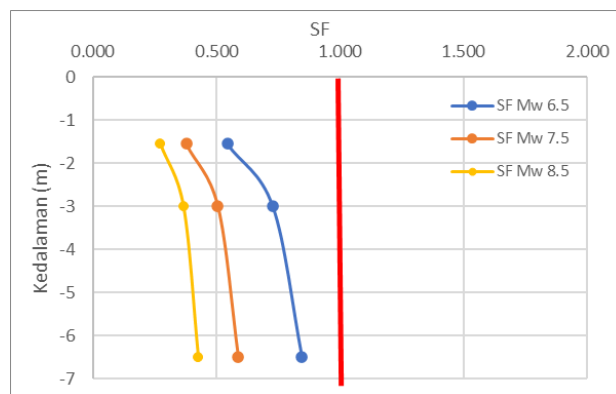
Gambar 8 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di titik BH 07 dengan skala magnitudo 6.5, terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 8 m. Sedangkan dengan skala magnitudo 7.5 potensi likuifaksi terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 11 m, kemudian

dilanjutkan pada kondisi likuifaksi pada permukaan hingga kedalaman 13 m pada magnitudo 8.5.



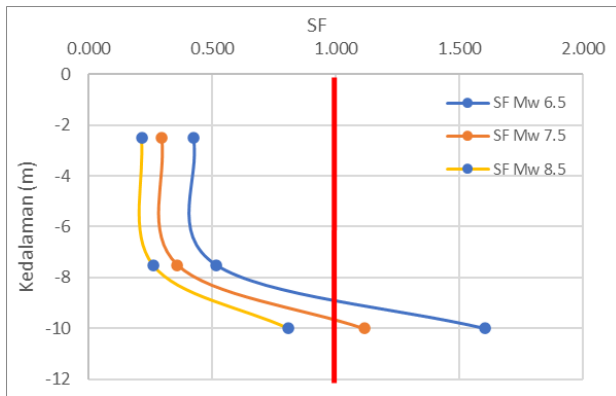
Gambar 9. Potensi likuifaksi di titik BH 08
Sumber : Hasil penelitian, 2023

Gambar 9 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di titik BH 08 dengan skala magnitudo 7.5 dan 8.5 terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 15 m. Sedangkan dengan skala magnitudo 6,5 potensi likuifaksi terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 11 m, kemudian dilanjutkan pada kondisi aman pada kedalaman 11-15 m.



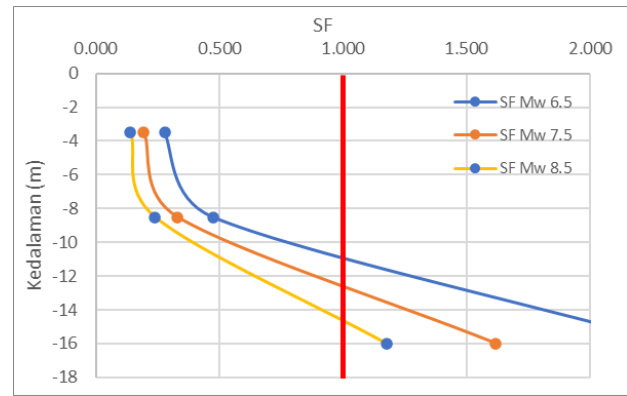
Gambar 10. Potensi likuifaksi di titik BH 10
Sumber : Hasil penelitian, 2023

Gambar 10 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di titik BH 10 dengan skala magnitudo 6.5, 7.5 dan 8.5 terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 6.5 m.



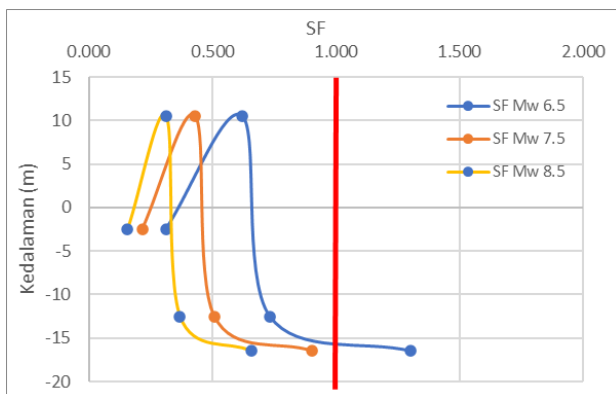
Gambar 11. Potensi likuifaksi di titik BH 14
Sumber : Hasil penelitian, 2023

Gambar 11 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di titik BH 14 dengan skala magnitudo 6.5, terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 8.5 m. Sedangkan dengan skala magnitudo 7.5 potensi likuifaksi terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 9 m, kemudian dilanjutkan pada kondisi likuifaksi pada permukaan hingga kedalaman 10 m pada magnitudo 8.5.



Gambar 13. Potensi likuifaksi di titik BH 20
Sumber : Hasil penelitian, 2023

Gambar 13 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di titik BH 20 dengan skala magnitudo 6.5, terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 11 m. Sedangkan dengan skala magnitudo 7.5 potensi likuifaksi terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 12.5 m, kemudian dilanjutkan pada kondisi likuifaksi pada permukaan hingga kedalaman 14.5 m pada magnitudo 8.5.



Gambar 12. Potensi likuifaksi di titik BH 19
Sumber : Hasil penelitian, 2023

Gambar 12 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di titik BH 19 dengan skala magnitudo 7,5 dan 15.5 terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 12 m. Sedangkan dengan skala magnitudo 6,5 potensi likuifaksi terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 15 m, kemudian dilanjutkan pada kondisi aman pada kedalaman lebih dari 15 m.

KESIMPULAN

Berdasarkan grafik distribusi butiran yang telah dipetakan ke dalam kurva Tsuchida (1970), temuan menunjukkan bahwa tanah di Titik Dominan mengandung campuran pasir dan lanau, serta memiliki ukuran butiran yang berada dalam zona berpotensi likuifaksi. Analisis menunjukkan bahwa peningkatan nilai N-SPT berhubungan dengan penurunan potensi likuifaksi. Nilai N-SPT yang berkisar antara 4,57 hingga 26,27 memiliki korelasi dengan peningkatan nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dalam rentang 0,05 hingga 0,4601. Seiring dengan peningkatan nilai CRR, probabilitas likuifaksi cenderung menurun. Penelitian juga mengidentifikasi bahwa area studi memiliki potensi tinggi untuk likuifaksi hingga kedalaman 15 meter berdasarkan data SPT. Korelasi antara parameter tanah menunjukkan bahwa peningkatan nilai N-SPT berhubungan dengan kenaikan nilai CRR, meskipun kenaikan nilai CRR. Selain itu, peningkatan magnitudo gempa juga berhubungan dengan peningkatan potensi likuifaksi, di mana pada magnitudo gempa 6.5 SR, nilai CRR lebih besar dibandingkan pada magnitudo 7.5 SR dan 8.5 SR.

Semakin tinggi nilai CRR, semakin rendah potensi likuifaksi.

REFERENSI

- Andajani, N., & Risdianto, Y. (2022). Penambahan Kapur Sebagai Stabilisasi Tanah Ekspansif untuk Lapisan Tanah Dasar (Subgrade). *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 4(2), 90-95.
- Ansori, A. latiful. 2020. *Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Berdasarkan Data Insitu Test Menggunakan Metode Probabilitas (Analysis Of Liquefaction Potential Due To Earthquake Based on Insitu Test using Probability Method)*. 1–27.
- Atangana Njock, P. G., Shen, S. L., Zhou, A. & Lyu, H. M. 2020. Evaluation of soil liquefaction using AI technology incorporating a coupled ENN / t-SNE model. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 130(December 2019), 105988. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105988>
- Diana, N. A., Ekaputri, J. J., Satrya, T. R. & Warnana, D. D. 2024. *Biocementing Process to Improve the Physical and*.
- Emanuela, Y. 2019. Analisis Potensi Likuifaksi Tanah dengan Data SPT dan Data CPT (Studi Kasus Underpass Jalan Brigjen. Katamso–AH Nasution Medan). *Jurnal Sipil Usu Repository*.
- García, M., Manzanal, D., B, Carvajal-Díaz, E., Slu, C. & Madrid, S. (n.d.). *Liquefaction analysis of undrained cyclic tests by calibration of constitutive models*.
- Gautam, D., de Magistris, F. S. & Fabbrocino, G. 2017. Soil liquefaction in Kathmandu valley due to 25 April 2017 Gorkha, Nepal earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 97(February), 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.03.001>
- Hakam, A. & Suhelmidawati, E. 2018. Liquefaction due to September 30th 2009 earthquake in Padang. *Procedia Engineering*, 54, 140–146. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.03.013>
- Hasibuan, D. H. & Ismaili, A. F. 2019. *Bumi Berdasarkan Data Standard Penetration Test (SPT) Studi Kasus Proyek Bandara Baru Yogyakarta International Airport*. 06(150), 1–9.
- Hsein Juang, C., Shen, M., Wang, C. & Chen, Q. 2018. Random field-based regional liquefaction hazard mapping — data inference and model verification using a synthetic digital soil field. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 77(3), 1273–1286. <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1071-y>
- Hutagalung, M. & Tarigan, S. D. 2019. Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa (Studi Kasus : Reklamasi Pelabuhan Kontainer Belawan Fase-2). *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 2(1), 15–34. <https://doi.org/10.54367/jrkms.v2i1.433>
- Ikhsan, R. 2019. Analisis Potensi Likuifaksi dari Data CPT dan SPT dengan Studi Kasus PLTU Ende Nusa Tenggara Timur. *Fakultas Teknik Universitas Indonesia*, 117.
- Pramono, P. P., Widjaja, D. B. & Herina, D. S. 2016. Kajian Geoteknik Untuk Infrastruktur Kota Padang Menghadapi Ancaman GEMPA dan TSUNAMI. *Research Report - Engineering Science*, Iii, 1–67. <http://journal.unpar.ac.id/index.php/rekayasa/article/view/1300>
- Prayitno, 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.
- Tandirerung, R. 2017. *Kementerian Riset, Teknologi, Dan Pendidikan Tinggi Universitas Gadjah Mada Program Pascasarjana Fakultas Teknik Program Studi S-2 Teknik Geologi Tesis*.
- Tijow, K. C., Sompie, O. B. A. & Ticoh, J. H. 2018. Analisis Potensi Likuifaksi Tanah Berdasarkan Data Standart Penetration Test (SPT), Studi Kasus : Dermaga Bitung, Sulawesi Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 6(7), 491–500.
- Yudi, H. 2021. *Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data SPT dan CPT (Studi Kasus Pembangunan Jalur KA Bandara New Yogyakarta International Airport)*. 1–148.