
Analisis Potensi Likuefaksi dan Estimasi *Settlement* Pasca-Likuefaksi di Kabupaten Indramayu

Didi Aryadi¹

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wiralodra

E-mail: didi.aryadi@unwir.ac.id

Komarudin²

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wiralodra

E-mail: komarudin.ft@unwir.ac.id

Nono Suhana³

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wiralodra

E-mail: nonosuhana.ft@unwir.ac.id

Abstrak

Pulau Jawa adalah salah satu bagian dari Indonesia, yang merupakan wilayah seismik aktif dengan populasi padat, terutama di Kabupaten Indramayu yang rentan terhadap likuefaksi. Penelitian ini bertujuan mengisi kekurangan data lokal mengenai likuefaksi di wilayah tersebut, yang memiliki karakteristik geoteknik unik. Dengan menggunakan Metode *Simplified Procedure* berdasarkan pendekatan Boulanger dan Idriss (2014), dengan memanfaatkan data uji *Standard Penetration Test* (SPT) untuk mengevaluasi nilai *cyclic stress ratio* (CSR), *cyclic resistance ratio* (CRR), serta menghitung faktor keamanan (*factor of safety*) terhadap likuefaksi dan metode empiris untuk menentukan estimasi *settlement* Pasca-Likuefaksi. Hasil menunjukkan faktor keamanan < 1 di BH-1 (6,5 -20,5 meter) dan BH-2 (0 - 18 meter), dengan estimasi penurunan pasca-likuefaksi sebesar 81,76 cm di BH-2 dan 132,8 cm di BH-1. Penelitian ini memberikan gambaran kondisi lapisan tanah di Kabupaten Indramayu, perencanaan tanggap bencana yang lebih baik dan perencanaan teknis yang tepat diharapkan dapat mengurangi risiko fenomena likuefaksi secara efektif.

Kata kunci: Karakteristik Geoteknik Indramayu, Penurunan Pasca-Likuefaksi, Potensi Likuefaksi, *Simplified Procedure*.

Abstract

Java Island is one part of Indonesia and is a seismically active area with a dense population, especially in Indramayu Regency, which is vulnerable to liquefaction. This study aims to fill the gap in local data on liquefaction in the area, which has unique geotechnical characteristics. The *Simplified Procedure Method* based on the Boulanger and Idriss (2014) approach was used, utilizing *Standard Penetration Test* (SPT) data to evaluate the *cyclic stress ratio* (CSR), *cyclic resistance ratio* (CRR), and to calculate the *factor of safety* against liquefaction. In addition, empirical methods were applied to estimate post-liquefaction settlement. The results show a *factor of safety* of less than 1 in BH-1 (6.5–20.5 meters) and BH-2 (0–18 meters), with estimated post-liquefaction settlements of 132.8 cm in BH-1 and 81.76 cm in BH-2. This study provides an overview of the subsurface soil conditions in Indramayu Regency. Improved disaster response planning and appropriate technical strategies are expected to effectively reduce the risk of liquefaction.

Keywords: Geotechnical Characteristics of Indramayu, Liquefaction Potential, Post-Liquefaction Settlement, *Simplified Procedure*.

1. PENDAHULUAN

Jawa adalah sebuah pulau di Indonesia dengan aktivitas tektonik yang tinggi dan populasi yang padat. Provinsi Jawa Barat memiliki enam patahan aktif yaitu Patahan Cimandiri, Baribis, Cipamingkis, Garsela, Citarik, dan Lembang.

Fenomena likuefaksi dapat terjadi akibat gempa bumi, dimana material padat seperti sedimen atau tanah endapan berubah menjadi cair. Likuefaksi dikenal sebagai hilangnya tegangan efektif pada tanah yang tidak kohesif akibat peningkatan tekanan air pori selama gempa bumi. Hal ini menyebabkan kegagalan pondasi, yang dapat menyebabkan keruntuhan struktural [14][17].

Kerusakan struktur yang disebabkan oleh gempa bumi sangat bergantung pada tingkat dan waktu terjadinya likuefaksi. Peningkatan tekanan pori, meskipun hanya mengakibatkan likuefaksi parsial, mengurangi kekakuan tanah, yang berdampak pada respons seismik tanah dan, pada akhirnya, eksitasi seismik yang mengguncang struktur ketika mencapai permukaan [15].

Daerah penelitian Indramayu merupakan salah satu Kabupaten pada Provinsi Jawa Barat yang termasuk dalam kategori wilayah yang cukup rentan terhadap gempa bumi. Gempa bumi dengan kekuatan yang tinggi dan merusak pernah terjadi di wilayah Indramayu dan sekitarnya pada tahun 1847 [3][13]. Secara umum, Indramayu tidak akan luput dari bahaya geologi berupa likuefaksi karena Indramayu termasuk ke dalam zona yang rentan terhadap bahaya geologi [3][5].

Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi likuefaksi dan memperkirakan *settlement* atau penurunan tanah pasca-likuefaksi di Kabupaten Indramayu. Dengan pendekatan empiris dan data laboratorium, penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih baik mengenai risiko likuefaksi dan memberikan gambaran kondisi lapisan tanah pada lokasi penelitian.

Sedimen pasir (termasuk fasies pasir fluvial dan pasir pematang pantai) serta material pasiran (fasies lanau pasiran pada bagian depan delta) di wilayah penelitian menunjukkan potensi likuefaksi, baik berdasarkan analisis data SPT maupun CPT/CPTu. Potensi likuefaksi tersebut cenderung lebih dominan di bagian utara area penelitian [3]. Meskipun telah banyak penelitian mengenai potensi likuefaksi, masih terdapat kesenjangan dalam pemahaman khusus untuk Kabupaten Indramayu. Daerah ini memiliki karakteristik geoteknik dan hidrogeologi yang unik, namun masih dibutuhkan lebih banyak data empiris dan studi kasus lokal untuk mengestimasi risiko likuefaksi secara akurat.

2. METODE PENELITIAN

Metode empiris, seperti *Simplified Procedure* yang berdasarkan pendekatan oleh Boulanger dan Idriss (2014) dengan memanfaatkan data uji *Standard Penetration Test* (SPT) untuk mengevaluasi nilai *cyclic stress ratio* (CSR), *cyclic resistance ratio* (CRR), serta menghitung faktor keamanan (*factor of safety*) terhadap likuefaksi [4]. Metode ini telah terbukti efektif dalam memprediksi kerentanan dengan menggunakan hasil uji *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT) dan divalidasi dengan

data historis gempa bumi. Metode ini menunjukkan akurasi yang tinggi dalam kasus likuefaksi dan non-likuefaksi [4][10].

Selain itu, pendekatan empiris digunakan untuk mengestimasi *settlement* atau penurunan pasca-likuefaksi berdasarkan korelasi antara parameter tanah dan penurunan vertikal. digunakan untuk memperkirakan *settlement* atau penurunan tanah pasca likuefaksi [8].

Parameter penting, seperti nilai N-SPT dari uji penetrasi standar (SPT), diproses dan diinterpretasikan dari hasil uji lapangan dan laboratorium untuk menentukan potensi likuefaksi dan estimasi penurunan pasca likuefaksi. Parameter-parameter ini digunakan dalam metode empiris untuk mengevaluasi faktor keamanan terhadap likuefaksi [1]. Selanjutnya, parameter seismik seperti percepatan tanah puncak digunakan dengan data tanah untuk menentukan kemungkinan likuefaksi di berbagai lapisan tanah. Data dari perhitungan analisis potensi likuefaksi digunakan untuk memperkirakan penurunan tanah pasca-likuefaksi.

2.1. Analisis Potensi Likuefaksi

Likuefaksi adalah suatu kondisi dimana tanah berubah secara terus menerus pada tegangan sisa atau tahanan sisa yang rendah [11]. Hal tersebut terjadi karena peningkatan tekanan air pori mengurangi tekanan yang memadai menjadi sangat rendah, yang dapat disebabkan oleh tekanan statis atau siklik yang bekerja. Angka pori, kepadatan relatif, dan tekanan total mempengaruhi kemungkinan terjadinya likuefaksi.

Tegangan Tanah Vertikal adalah perkalian antara berat volume tanah dengan tinggi lapisan tanah yang ditinjau. Dibuat tanpa mempertimbangkan pengaruh air. disajikan dalam persamaan berikut:

$$\sigma_v = z \gamma_{sat} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana σ_v adalah tegangan tanah vertikal (kN/m²), γ_{sat} adalah berat isi tanah (kN/m³), dan z adalah ketebalan lapisan tanah (m).

Tegangan Tanah Efektif adalah tegangan dalam tanah yang dipengaruhi oleh tegangan air pori. Pertama kali diperkenalkan oleh Terzaghi (1923), berdasarkan hasil eksperimen, diterapkan pada tanah yang jenuh air dan berhubungan dengan dua tegangan:

$$\sigma'_v = \sigma_v - u \dots\dots\dots(2)$$

$$u = \gamma_w \cdot z \dots\dots\dots(3)$$

Dimana σ_v adalah tegangan tanah vertikal (kN/m²), σ'_v adalah tegangan tanah efektif (kN/m²), u adalah tekanan air pori (kN/m²), γ_w adalah berat isi tanah kondisi basah(kN/m³), z adalah ketebalan lapisan tanah (m)

Pada penelitian ini, analisis potensi likuefaksi digunakan data hasil uji data SPT sebagai acuan untuk menentukan dua parameter dalam analisis potensi likuefaksi, yaitu CSR (*Cyclic Stress Ratio*) dan CRR (*Cyclic Resistance Ratio*), Dengan membandingkan nilai CRR dan CSR, maka didapatkan nilai FS (*Factor of Safety*) yang menjadi indikator terjadinya likuefaksi apabila nilai FS kurang dari 1 (satu), dimana hal tersebut dapat

dinyatakan dalam sebuah persamaan berdasarkan apa yang dijelaskan oleh Youd dan Idriss (2001) dalam [2].

$$FS = \left(\frac{CRR_{7.5}}{CSR} \right) \cdot MSF \cdot K_{\sigma} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana FS adalah Faktor Keamanan, $CRR_{7.5}$ adalah Rasio Resistensi siklik untuk gempa berkekuatan Magnitudo 7.5, CSR adalah Rasio Stres siklik, MSF adalah Faktor Penskalaan Magnitudo, dan K_{σ} adalah faktor koreksi lapisan tanah penutup.

Nilai FS sebagai acuan dalam analisis potensi likuefaksi: Potensi likuefaksi dapat terjadi jika nilai $FS < 1$. Sebaliknya, tidak ada potensi likuefaksi untuk nilai $FS \geq 1$. Sangat penting untuk diingat bahwa Cyclic Stress Ratio (CSR) mengevaluasi kolom tanah sebagai sebuah benda kaku yang bergerak secara horizontal sebagai respons terhadap percepatan terbesar gempa.

Magnitude Scaling Factor (MSF) adalah faktor skala berdasarkan kekuatan gempa, Pada Tabel 1 faktor skala besaran dari berbagai peneliti, seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1. Nilai MSF telah ditetapkan oleh berbagai peneliti

Magnitude , M (1)	Seed dan Idriss (1982) (2)	Idriss ^a (3)	Ambraseys (1988) (4)	Arango (1996)		Andrus dan Stokoe (1997) (7)	Youd dan Noble (1997b)		
				Distance based (5)	Energy based (6)		$P_L < 20\%$ (8)	$P_L < 32\%$ (9)	$P_L < 50\%$ (10)
5.5	1.43	2.20	2.86	3.00	2.20	2.8	2.86	3.42	4.44
6.0	1.32	1.76	2.20	2.00	1.65	2.1	1.93	2.35	2.92
6.5	1.19	1.44	1.69	1.60	1.40	1.6	1.34	1.66	1.99
7.0	1.08	1.19	1.30	1.25	1.10	1.25	1.00	1.20	1.39
7.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-	1.00
8.0	0.94	0.84	0.67	0.75	0.85	0.8?	-	-	0.73?
8.5	0.89	0.72	0.44	-	-	0.65?	-	-	0.56?

Catatan: ? = nilai yang sangat tidak pasti

Sumber: Youd dan Noble dalam Boulanger dan Idriss, 2014

Nilai MSF < 7.5 ; bagian bawah untuk kisaran yang direkomendasikan adalah MSF baru yang diusulkan oleh Idriss [kolom 3 pada Tabel 1]

Faktor koreksi overburden K_{σ} , Boulanger dan Idriss (2014) merekomendasikan agar hubungan K_{σ} yang dihasilkan dinyatakan dalam bentuk $(N_1)_{60CS}$ sebagai berikut:

$$K_{\sigma} = 1 - C_{\sigma} \ln \left(\frac{\sigma'_v}{P_a} \right) \leq 1.1 \dots \dots \dots (6)$$

$$C_{\sigma} = \frac{1}{18.9 - 2.55 \sqrt{(N_1)_{60CS}}} \leq 0.3 \dots \dots \dots (7)$$

Koefisien C_{σ} dapat dibatasi hingga nilai maksimum 0,3 dengan membatasi $(N_1)_{60CS} \leq 37$ untuk digunakan dalam ekspresi ini. Untuk menghitung nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) dan tahanan penetrasi, tahanan penetrasi SPT dikoreksi terhadap pengaruh

tegangan lapisan penutup. Beberapa faktor mempengaruhi hasil dalam menentukan nilai $(N_1)_{60}$, seperti pada persamaan berikut:

Untuk menghitung nilai CSR (*Cyclic Stress Resistance*), digunakan persamaan berikut ini:

$$CSR = 0.65 \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \frac{a_{max}}{g} r_d \dots\dots\dots(8)$$

Dimana CSR adalah *Cyclic Stress Resistance*, σ_v adalah tegangan tanah vertikal, σ'_v adalah tegangan tanah efektif, a_{max} adalah percepatan horisontal puncak gempa, g adalah gravitasi, dan r_d adalah koefisien reduksi tegangan geser.

Menurut Robertson dan Wride (1997), untuk praktik rutin dan proyek yang tidak kritis, nilai rata-rata r_d diketahui dengan persamaan berikut [2][6]:

$$r_d = 1.0 - 0.00765z \quad \text{for } z \leq 9.15 \text{ m} \dots\dots\dots(9)$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267z \quad \text{for } 9.15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m} \dots\dots\dots(10)$$

$$r_d = 0.744 - 0.008z \quad \text{for } 23 \text{ m} < z \leq 30 \text{ m} \dots\dots\dots(11)$$

$$r_d = 0.5 \quad \text{for } z > 30 \text{ m} \dots\dots\dots(12)$$

Dimana z adalah kedalaman lapisan tanah (m).

Untuk menghitung nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) dan Tahanan Penetrasi, Tahanan Penetrasi SPT dikoreksi terhadap pengaruh tegangan lapisan penutup. Beberapa faktor mempengaruhi hasil dalam menentukan nilai $(N_1)_{60}$, seperti pada persamaan berikut [6][9]:

$$(N_1)_{60} = N_m C_N C_E C_B C_R C_S \dots\dots\dots(13)$$

Menurut Kayen dkk. (1992) dalam Youd dan Idriss (2001) menyarankan persamaan berikut ini, yang membatasi nilai C_N maksimum pada 1.7, dan menurut peneliti memberikan kecocokan yang lebih baik terhadap kurva asli yang ditentukan oleh Seed dan Idriss (1982):

$$C_N = \frac{2.2}{\left(1.2 + \frac{\sigma'_v}{P_a}\right)} \dots\dots\dots(14)$$

Dimana C_N adalah *overburden correction factor*, σ'_v is tegangan tanah efektif (kN/m²), P_a adalah tekanan 1 *atmosphere* (100 kPa)

Persamaan berikut ini dikembangkan oleh Seed dan Idriss (1982) dalam Youd dan Idriss (2001) untuk mengoreksi $(N_1)_{60}$ Untuk nilai pasir bersih yang setara, $(N_1)_{60cs}$:

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta(N_1)_{60} \dots\dots\dots(15)$$

$$\alpha = 0 \quad \text{for } FC \leq 5\% \dots\dots\dots(16)$$

$$\alpha = \exp \left[1.76 - \left(\frac{190}{FC^2} \right) \right] \quad \text{for } 5\% < FC \leq 35\% \dots\dots\dots(17)$$

$$\alpha = 5.0 \quad \text{for } FC \geq 35\% \dots\dots\dots(18)$$

$$\beta = 1.0 \quad \text{for } FC \leq 5\% \dots\dots\dots(19)$$

$$\beta = \left[0.99 - \left(\frac{FC^{1.5}}{1.000} \right) \right] \quad \text{for } 5\% < FC \leq 35\% \dots\dots\dots(20)$$

$$\beta = 1.2 \quad \text{for } FC \geq 35\% \dots\dots\dots (21)$$

Dimana FC adalah *finest content*.

Fines content atau butiran halus (*silt* dan *clay*), nilai *finest content* dapat diketahui dari pengujian analisis saringan atau *sieve analysis* dengan melihat nilai persentase (%) lolos saringan No. 200, akan tetapi jika tidak ada data pengujian nilai *finest content* (%) dapat dikorelasikan dengan nilai dari *soil behavior type index* (I_c) yang merupakan fungsi dari tahanan ujung CPT (*Cone Penetration Test*) dan rasio gesekan. Indeks tipe perilaku tanah yang direkomendasikan oleh Robertson dan Wride (1998) dalam [12]. dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$I_c = \left[(3.47 - \log(Q))^2 + (1.22 + \log(F))^2 \right]^{0.5} \dots\dots\dots (22)$$

Dimana Q dan F adalah rasio gesekan ujung dan selongsong yang dinormalisasi yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q = \left(\frac{q_c - \sigma_{vc}}{P_a} \right) \left(\frac{P_a}{\sigma_{vc}} \right)^n \dots\dots\dots(23)$$

$$F = \left(\frac{f_s}{q_c - \sigma_{vc}} \right) \cdot 100\% \dots\dots\dots(24)$$

Menurut Robertson dan Wride (1998) dalam [16] nilai *finest content* dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$FC(\%) = 1.75 I_c^{3.25} - 3.7 \dots\dots\dots(25)$$

Untuk menghitung nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*), digunakan persamaan berikut ini:

$$CRR_{M=7.5} = \exp \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{126} \right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{23.6} \right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{25.4} \right)^4 - 2.8 \right) \dots\dots\dots(26)$$

Dimana CRR adalah *Cyclic Resistance Ratio* dan $(N_1)_{60cs}$ adalah nilai $(N_1)_{60}$ setara pasir bersih.

2.2. Estimasi Penurunan Tanah Pasca Likuefaksi

Settlement atau penurunan pasca likuefaksi dipengaruhi oleh ada atau tidaknya likuefaksi yang terjadi pada setiap lapisan, yang disebut dengan indikator lapisan tanah likuefaksi berdasar Zhang (2002) dimodifikasi Juang (2013) dalam [8]. Penurunan tanah pasca likuefaksi dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$S_p = \sum_{i=1}^N \varepsilon_{vi} \cdot \Delta z_i \cdot IND_i \dots\dots\dots(27)$$

Dimana S_p adalah estimasi penurunan pada permukaan tanah (cm), ε_{vi} adalah regangan volumetrik pada lapisan ke-i (%), Δz_i adalah ketebalan lapisan tanah ke-i (m), IND_i adalah indikator likuefaksi pada lapisan ke-i yang bernilai 0 jika lapisan ke-i tidak mengalami likuefaksi dan bernilai 1 jika lapisan ke-i mengalami likuefaksi.

Dalam memperkirakan regangan volumetrik dapat menggunakan metode berbasis CPT yang digabungkan dengan hubungan regangan volumetrik yang didefinisikan oleh Ishihara dan Yoshimine (1992) dalam [7]. Persamaan tersebut mendekati nilai *volumetric strain*.

$$\varepsilon_v(\%) = 0 \text{ if } FS \geq 2 \dots\dots\dots(28)$$

$$\varepsilon_v(\%) = \min\left(\frac{a_0+a_1 \ln(q)}{\frac{1}{2-FS}-(a_2+a_3 \ln(q))}, b_0 + b_1 \ln(q) + b_2 \ln(q)^2\right) \text{ if } 2 - \frac{1}{a_2+a_3 \ln(q)} < FS < 2 \dots\dots\dots(29)$$

$$\varepsilon_v(\%) = b_0 + b_1 \ln(q) + b_2 \ln(q)^2 \text{ if } FS \leq 2 - \frac{1}{a_2+a_3 \ln(q)} \dots\dots\dots(28)$$

Dimana $a_0=0.3773$, $a_1= -0.0337$, $a_2=1.5672$, $a_3= -0.1833$, $b_0=28.45$, $b_1= -9.3372$, $b_2= 0.7975$, $q = q_{c1NCS}$ dalam kg/cm^2 (≈ 100 kPa)

Nilai q_{c1NCS} diperoleh dari hasil perhitungan data CPT dengan pendekatan pasir bersih dari nilai tahanan jenis (q_c) atau menggunakan konversi dari nilai $(N_1)_{60cs}$ [7]. yang dapat didekati dengan persamaan berikut:

$$(q_{c1N})_{CS} = \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{0.488}\right)^{\frac{1}{0.779}} \dots\dots\dots(30)$$

Estimasi *settlement* atau penurunan pasca-likuefaksi diklasifikasikan ke dalam tiga tingkatan, seperti yang ditentukan oleh Ishihara dan Yoshimine (1992) dalam [7].

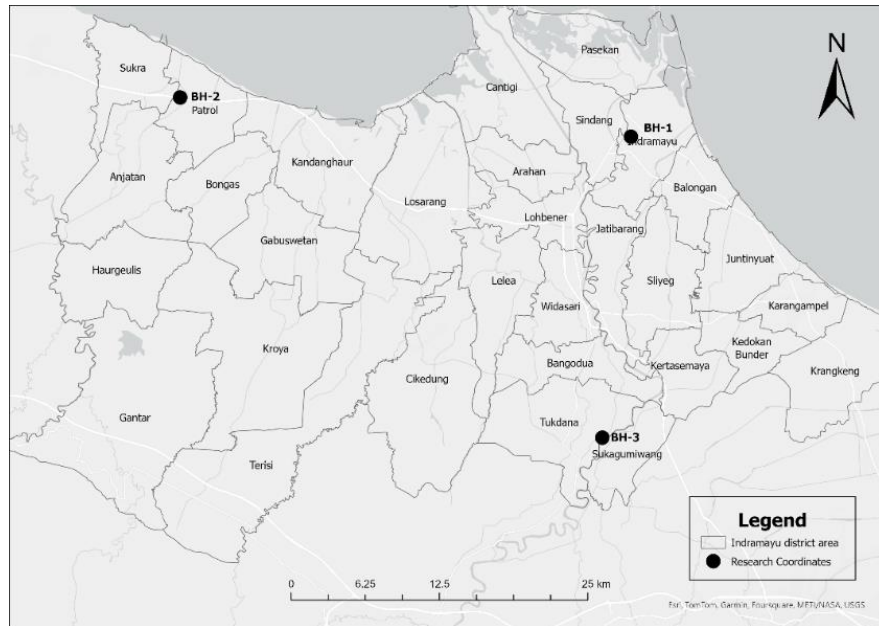
Tabel 2. Klasifikasi estimasi penurunan pasca likuefaksi

Settlement (cm)	Tingkat kerusakan
0-10	Kerusakan ringan
10-30	Kerusakan sedang
30-70	Kerusakan yang luas

Sumber : Ishihara dan Yoshimine,1992 dalam Hasiholan dkk, 2023

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan studi yang kami lakukan di tiga lokasi penelitian di Kabupaten Indramayu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1:



Gambar 1. Peta Lokasi Wilayah Studi Penelitian Kabupaten Indramayu
Sumber : Peneliti, 2025

Dimana Lokasi penelitian BH-1 terletak di kecamatan Indramayu, BH-2 terletak di kecamatan Patrol, dan BH-3 terletak di kecamatan Tukdana.

3.1. Analisis Potensi Likuefaksi Berdasarkan Hasil Perhitungan

Berikut ini adalah perhitungan analisis potensi likuefaksi disetiap titik lokasi penelitian disajikan dalam tabel dan grafik.

Hasil analisis potensi likuefaksi di lokasi BH-1 di tunjukan pada Tabel 3:

Tabel 3. Hasil analisis potensi likuefaksi di titik lokasi BH-1

No	Kedalaman	NSPT	CSR	CRR _{7.5}	K _σ	FS	Keterangan
1	0-2.5	10	0.16	0.14	1.0	2.1	Tidak berpotensi
2	2.5-4.5	2	0.16	0.09	1.0	1.3	Tidak berpotensi
3	4.5-6.5	1	0.19	0.09	1.1	1.1	Tidak berpotensi
4	6.5-8.5	1	0.41	0.08	1.1	0.4	Berpotensi
5	8.5-10.5	2	0.46	0.08	1.1	0.4	Berpotensi
6	10.5-12.5	1	0.46	0.08	1.1	0.4	Berpotensi
7	12.5-14.5	1	0.46	0.08	1.1	0.4	Berpotensi
8	14.5-16.5	1	0.46	0.08	1.1	0.4	Berpotensi
9	16.5-18.5	1	0.46	0.08	1.1	0.4	Berpotensi
10	18.5-20.5	2	0.46	0.08	1.1	0.4	Berpotensi
11	20.5-22.5	12	0.46	0.20	1.1	1.0	Tidak berpotensi
12	22.5-24.5	11	0.30	0.19	1.1	1.5	Tidak berpotensi
13	24.5-26.5	15	0.30	0.28	1.1	2.3	Tidak berpotensi
14	26.5-28.5	16	0.30	0.33	1.1	2.6	Tidak berpotensi
15	28.5-30.5	17	0.20	0.39	1.1	4.5	Tidak berpotensi
16	30.5-32.5	38	0.20	6.E+08	1.1	7.E	Tidak berpotensi

No	Kedalaman	NSPT	CSR	CRR _{7.5}	K _σ	FS	Keterangan
17	32.5-34.5	58	0.20	6.E+59	1.1	8.E	Tidak berpotensi
18	34.5-36.5	60	0.19	5.E+67	1.1	7.E	Tidak berpotensi
19	36.5-38.5	60	0.19	5.E+67	1.1	7.E	Tidak berpotensi

Sumber : Peneliti, 2025

Pada Tabel 3 Titik lokasi penelitian BH-1 berpotensi mengalami likuefaksi pada kedalaman 6,5 hingga 20,5 meter di bawah permukaan tanah.

Hasil analisis potensi likuefaksi di lokasi BH-2 ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisis potensi likuefaksi di titik lokasi BH-2

No	Kedalaman	NSP	CS	CRR _{7.5}	K _σ	FS	Keterangan
1	0.0-2.0	3	0.40	0.09	1.10	0.51	Berpotensi
2	2.0-4.0	5	0.40	0.11	1.10	0.63	Berpotensi
3	4.0-6.0	6	0.40	0.12	1.10	0.70	Berpotensi
4	6.0-8.0	4	0.40	0.095	1.10	0.57	Berpotensi
5	8.0-10.0	5	0.46	0.106	1.10	0.56	Berpotensi
6	10.0-12.0	6	0.46	0.117	1.10	0.61	Berpotensi
7	12.0-14.0	7	0.46	0.128	1.10	0.68	Berpotensi
8	14.0-16.0	9	0.46	0.154	1.10	0.81	Berpotensi
9	16.0-18.0	10	0.46	0.168	1.10	0.88	Berpotensi
10	18.0-20.0	12	0.46	0.201	1.10	1.06	Tidak berpotensi
11	20.0-22.0	60	0.45	2.E+69	1.10	1.E+70	Tidak berpotensi
12	22.0-24.0	60	0.29	2.E+69	1.10	2.E+70	Tidak berpotensi
13	24.0-26.0	16	0.30	0.33	1.10	2.67	Tidak berpotensi
14	26.0-28.0	17	0.30	0.39	1.10	3.15	Tidak berpotensi
15	28.0-30.0	19	0.20	0.59	1.10	6.96	Tidak berpotensi

Sumber : Peneliti, 2025

Pada Tabel 4 titik lokasi penelitian BH-2 berpotensi terjadi likuefaksi mulai dari 0 hingga 18 meter dari permukaan tanah.

Hasil analisis potensi likuefaksi di lokasi BH-3 ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil analisis potensi likuefaksi di titik lokasi BH-3

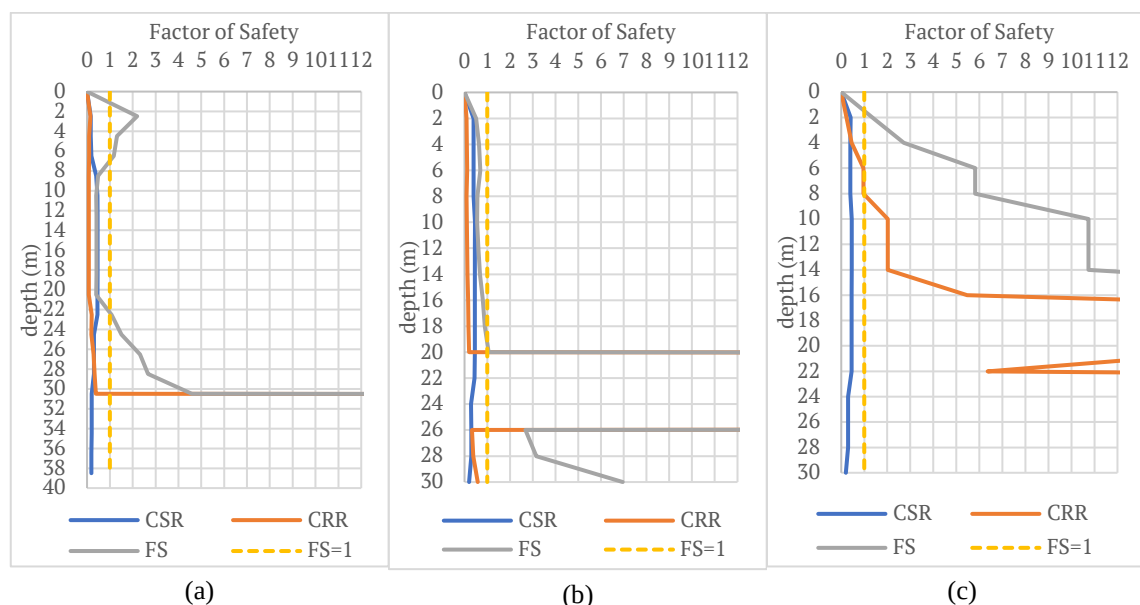
No	Kedalaman	NSPT	CSR	CRR	K _σ	FS	Keterangan
1	0.0-2.0	13	0.40	0.23	1.10	1.35	Tidak berpotensi
2	2.0-4.0	18	0.40	0.45	1.10	2.71	Tidak berpotensi
3	4.0-6.0	21	0.40	0.96	1.10	5.82	Tidak berpotensi
4	6.0-8.0	21	0.40	0.964	1.10	5.82	Tidak berpotensi
5	8.0-10.0	23	0.46	2.023	1.10	10.75	Tidak berpotensi
6	10.0-12.0	23	0.46	2.023	1.10	10.75	Tidak berpotensi
7	12.0-14.0	23	0.46	2.023	1.10	10.75	Tidak berpotensi
8	14.0-16.0	25	0.46	5.466	1.10	29.07	Tidak berpotensi
9	16.0-18.0	28	0.45	44.69	1.10	238.0	Tidak berpotensi
10	18.0-20.0	27	0.45	20.22	1.10	107.6	Tidak berpotensi
11	20.0-22.0	25	0.46	6.37	1.10	33.85	Tidak berpotensi

No	Kedalaman	NSPT	CSR	CRR	K_σ	FS	Keterangan
12	22.0-24.0	29	0.30	147.1	1.10	1206.	Tidak berpotensi
13	24.0-26.0	32	0.29	5.E+	1.10	4.E+	Tidak berpotensi
14	26.0-28.0	31	0.29	1.E+	1.10	1.E+	Tidak berpotensi
15	28.0-30.0	33	0.20	2.E+	1.10	3.E+	Tidak berpotensi

Sumber : Peneliti, 2025

Pada Tabel 5 Tidak terdapat potensi likuefaksi pada kedalaman 0 hingga 30 meter dari permukaan tanah di lokasi penelitian BH-3.

Temuan faktor keamanan dari studi potensi likuefaksi ditampilkan pada Gambar 2, berdasarkan informasi dari tiga lokasi penelitian.



Gambar 2. Faktor keamanan potensi likuefaksi di lokasi Penelitian (a) BH-1, (b) BH-2, (c) BH-3

Sumber : Peneliti, 2025

Dari ketiga lokasi penelitian, BH-1 dan BH-2 berpotensi mengalami likuefaksi berdasarkan hasil analisis data potensi likuefaksi. Pada lokasi tersebut, jarak ke pantai lebih dekat sehingga memungkinkan tanahnya merupakan fase endapan berpasir yang terdiri dari fasies pasir sungai dan tanggul pantai [3].

3.2. Estimasi *Settlement* Pasca Likuefaksi Berdasarkan Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan nilai estimasi *settlement* pasca likuefaksi pada titik lokasi penelitian BH-1 ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Estimasi penurunan tanah pasca likuefaksi di titik lokasi BH-1

No	Kedalaman (m)	NSPT	ε_v (%)	FS	IN D	S (cm)	ΣS (cm)	Tingkat Kerusakan
1	0-2.5	10	0.00	2.19	0	0	0.00	Kerusakan

No	Kedalaman (m)	NSPT	ε_v (%)	FS	IND	S (cm)	ΣS (cm)	Tingkat Kerusakan
2	2.5-4.5	2	0.60	1.32	0	0	0.00	yang luas
3	4.5-6.5	1	1.28	1.16	0	0	0.00	
4	6.5-8.5	1	9.16	0.48	1	18.32	18.32	
5	8.5-10.5	2	10.30	0.40	1	20.60	38.92	
6	10.5-12.5	1	9.16	0.42	1	18.32	57.24	
7	12.5-14.5	1	9.16	0.42	1	18.32	75.56	
8	14.5-16.5	1	9.16	0.42	1	18.32	93.88	
9	16.5-18.5	1	9.16	0.42	1	18.32	112.20	
10	18.5-20.5	2	10.30	0.40	1	20.60	132.80	
11	20.5-22.5	12	0.56	1.08	0	0	132.80	
12	22.5-24.5	11	0.17	1.51	0	0	132.80	
13	24.5-26.5	15	0.00	2.32	0	0	132.80	
14	26.5-28.5	16	0.00	2.67	0	0	132.80	
15	28.5-30.5	17	0.00	4.59	0	0	132.80	
16	30.5-32.5	38	0.00	7.E+09	0	0	132.80	
17	32.5-34.5	58	0.00	8.E+60	0	0	132.80	
18	34.5-36.5	60	0.00	7.E+68	0	0	132.80	
19	36.5-38.5	60	0.00	7.E+68	0	0	132.80	

Sumber : Peneliti, 2025

Estimasi *settlement* pasca likuefaksi di titik lokasi BH-1 adalah 132,80 cm atau 1,33 meter. Nilai yang cukup besar ini akan berdampak signifikan terhadap struktur dan infrastruktur di atasnya.

Sementara itu, estimasi *settlement* pasca-likuefaksi pada titik lokasi penelitian BH-2 ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Estimasi penurunan tanah pasca likuefaksi di titik lokasi BH-2

No	Kedalaman (m)	NSPT	ε_v (%)	FS	IND	S (cm)	ΣS (cm)	Tingkat Kerusakan
1	0.0-2.0	3	7.7	0.51	1	15.44	15.44	Kerusakan yang luas
2	2.0-4.0	5	5.1	0.63	1	10.24	25.69	
3	4.0-6.0	6	4.3	0.70	1	8.65	34.34	
4	6.0-8.0	4	6.2	0.57	1	12.44	46.78	
5	8.0-10.0	5	5.1	0.56	1	10.24	57.02	
6	10.0-12.0	6	4.3	0.61	1	8.65	65.67	
7	12.0-14.0	7	3.7	0.68	1	7.44	73.12	
8	14.0-16.0	9	2.8	0.81	1	5.75	78.86	
9	16.0-18.0	10	1.4	0.88	1	2.90	81.76	
10	18.0-20.0	12	0.5	1.06	0	0.00	81.76	
11	20.0-22.0	60	0.0	1.E	0	0	81.76	
12	22.0-24.0	60	0.0	2.E	0	0	81.76	
13	24.0-26.0	16	0.0	2.67	0	0	81.76	
14	26.0-28.0	17	0.0	3.15	0	0	81.76	

No	Kedalaman (m)	NSPT	ε_v (%)	FS	IND	S (cm)	ΣS (cm)	Tingkat Kerusakan
15	28.0-30.0	19	0.0	6.96	0	0	81.76	

Sumber : Peneliti, 2025

Hasil estimasi *settlement* pasca likuefaksi di titik lokasi BH-2 adalah 81,76 cm atau 0,82 meter. Nilai estimasi yang cukup besar ini berdampak signifikan terhadap struktur dan infrastruktur di atasnya.

Hasil estimasi *settlement* pasca likuefaksi pada titik lokasi penelitian BH-3 diitunjukkan pada Tabel 8.

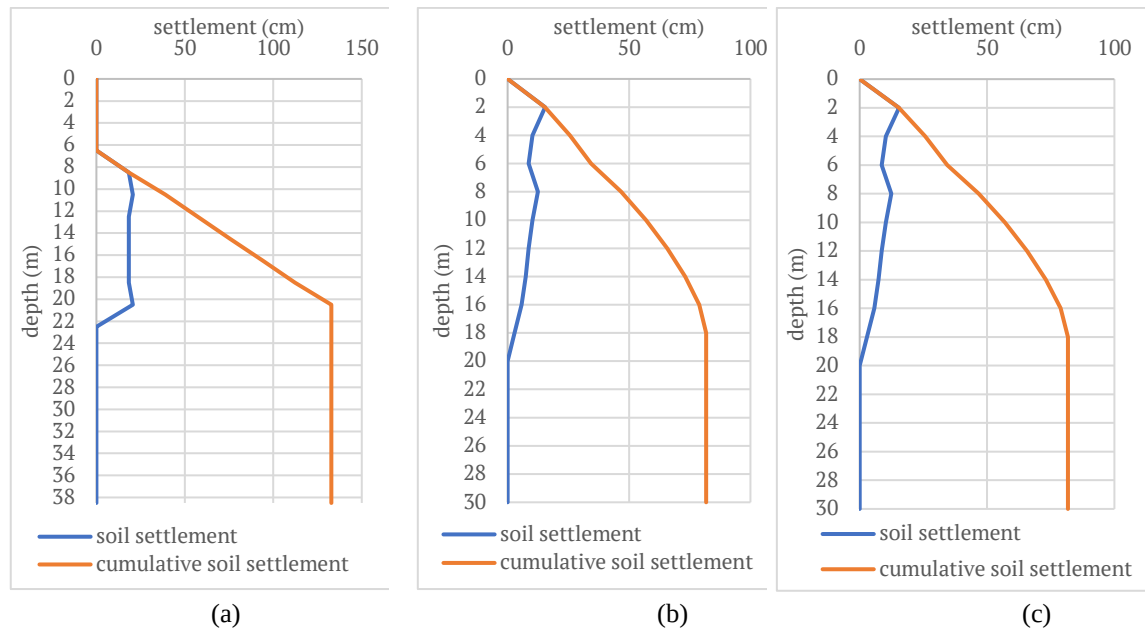
Tabel 8. Estimasi penurunan tanah pasca likuefaksi di titik lokasi BH-3

No	Kedalaman (m)	NSPT	ε_v (%)	FS	IND	S (cm)	ΣS (cm)	Tingkat Kerusakan
1	0.0-2.0	13	0.24	1.35	0	0	0	Kerusakan ringan hingga tidak ada
2	2.0-4.0	18	0.00	2.71	0	0	0	
3	4.0-6.0	21	0.00	5.82	0	0	0	
4	6.0-8.0	21	0.00	5.82	0	0	0	
5	8.0-10.0	23	0.00	10.75	0	0	0	
6	10.0-12.0	23	0.00	10.75	0	0	0	
7	12.0-14.0	23	0.00	10.75	0	0	0	
8	14.0-16.0	25	0.00	29.07	0	0	0	
9	16.0-18.0	28	0.00	238.03	0	0	0	
10	18.0-20.0	27	0.00	107.64	0	0	0	
11	20.0-22.0	25	0.00	33.85	0	0	0	
12	22.0-24.0	29	0.00	1.E+03	0	0	0	
13	24.0-26.0	32	0.00	4.E+04	0	0	0	
14	26.0-28.0	31	0.00	1.E+04	0	0	0	
15	28.0-30.0	33	0.00	3.E+05	0	0	0	

Sumber : Peneliti, 2025

Berdasarkan hasil estimasi *settlement* pasca likuefaksi pada titik lokasi BH-3, tidak terdapat *settlement* pasca likuefaksi dikarenakan tidak adanya potensi likuefaksi pada titik lokasi BH-3 di lokasi penelitian.

Berikut ini adalah grafik estimasi *settlement* pasca likuefaksi berdasarkan data dari tiga titik lokasi penelitian.



Gambar 3. Estimasi penurunan tanah pasca likuefaksi di lokasi penelitian (a) BH-1, (b) BH-2, (c) BH-3

Sumber : Peneliti, 2025

Hasil analisis potensi likuefaksi dan estimasi penurunan tanah pasca-likuefaksi di Kabupaten Indramayu berpengaruh terhadap perencanaan infrastruktur dan manajemen risiko geoteknik. Fakta bahwa beberapa lapisan tanah di Indramayu memiliki potensi likuefaksi yang besar mengindikasikan bahwa daerah dengan kondisi tanah yang didominasi oleh butiran halus dan dalam keadaan jenuh air, yang umum terjadi di daerah aluvial, dapat mengalami penurunan kekuatan yang signifikan saat terjadi gempa bumi.

3.3. Pembahasan

Penelitian ini menunjukkan bahwa pada beberapa lapisan tanah di Kabupaten Indramayu yang berbutir sangat halus dan jenuh air berpotensi mengalami likuefaksi, dengan faktor keamanan likuefaksi <1 pada titik lokasi penelitian analisis potensi likuefaksi BH-1 di kedalaman 6,5 hingga 20,5 meter dan BH-2 di kedalaman 0 hingga 18 meter. Selain itu, estimasi penurunan pasca likuefaksi menunjukkan kemungkinan terjadinya kerusakan yang signifikan pada infrastruktur dan pondasi sebesar 132,8 cm di titik lokasi BH-1 dan 81,76 cm di titik lokasi BH-2. Studi ini memberikan data empiris yang mendalam mengenai kemungkinan terjadinya likuefaksi di daerah yang belum banyak diteliti, membantu mengisi kesenjangan dalam literatur, serta dapat mempengaruhi peraturan dan kebijakan konstruksi di daerah Kabupaten Indramayu, sehingga menghasilkan standar konstruksi yang lebih ketat dan metode mitigasi yang lebih baik.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa potensi likuefaksi cukup tinggi di daerah Indramayu khususnya daerah atau lokasi dekat dengan bibir pantai utara pulau Jawa, faktor keamanan kurang dari satu pada lokasi BH-1 dan BH-2, dengan nilai estimasi penurunan tanah pasca-likuefaksi cukup signifikan sebesar 132.8 cm pada lokasi BH-1 dan 81.76 cm pada lokasi BH-2, hasil tersebut disebabkan oleh dominasi tanah berpasir yang sangat jenuh, yang dapat kehilangan kekuatan gesernya bila digetarkan.

Merujuk pada hasil penelitian ini, memberikan gambaran kondisi lapisan tanah di Kabupaten Indramayu, Pemerintah daerah Kabupaten Indramayu diharapkan dapat memberikan perhatian serius terhadap potensi terjadinya likuefaksi, terutama di area yang telah diidentifikasi sebagai rawan seperti pada titik BH-1 dan BH-2. Diperlukan penerapan regulasi teknis yang lebih ketat dalam proses perencanaan dan pembangunan di wilayah tersebut, khususnya terkait pemilihan jenis pondasi dan metode perbaikan tanah. Selain itu, perlu dilakukan investigasi lanjutan di area lain guna memperoleh pemahaman yang lebih menyeluruh. Hasil dari penelitian ini sebaiknya dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan tata ruang, serta sebagai dasar untuk memberikan edukasi kepada masyarakat dan pelaku konstruksi agar lebih waspada dan siap menghadapi risiko likuefaksi.

5. REFERENSI

- [1] Alihudien, A., Suhartinah, S., & Warnana, D. (2019). *Analysis Of Liquefaction Potential Based On Standart Penetration Test (SPT) In Puger, Jember, Indonesia*. 102–108. <https://doi.org/10.4108/eai.24-10-2018.2280508>
- [2] Ambarwati, I. W., Feranie, S., & Tohari, A. (2020). Analisis Potensi Likuefaksi Di Wilayah Cekungan Bandung dengan Menggunakan Metode Uji Penetrasi Konus. *Riset Geologi dan Pertambangan*, 30(1), 21. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2020.v30.1038>
- [3] Asrul Sani, R., Soebowo, E., & A. Sadisun, I. (2022). Fasies Sedimen Kuartir Kaitannya Dengan Potensi Likuefaksi Di Kawasan Das Cimanuk, Indramayu, Jawa Barat. *Jurnal Teknologi*, 15(2), 110–117. <https://doi.org/10.34151/jurtek.v15i2.3158>
- [4] Boulanger, R. W., & Idriss, I. M. (2014). *CPT and SPT based liquefaction triggering procedures, Report UCD/CGM-10/2*.
- [5] Buana, T. W., Hermawan, W., Rahdiana, R. N., Widyaningrum, R., Wahyudin, Hasibuan, G., Wiyono, dan Solliu, W. P. (2019). *Atlas zona kerentanan likuefaksi Indonesia*. Badan Geologi.
- [6] Budi Kusuma, W. (2020). Analisa Kuantitatif dan Kualitatif Potensi Likuefaksi. *Majalah Ilmiah Swara Patra*, 10(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.37525/sp/2020-2/251>
- [7] Hasiholan, F., Ismanti, S., & Rifa'I, A. (2023). Estimating of Post-liquefaction Settlement Based on SPT Data in Klaten Regency, Central Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1203(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1203/1/012029>

- [8] Jonathan, D. B., & Franklin. R. Olaya. (2023). 2022 H. Bolton Seed Memorial Lecture: Evaluating Liquefaction Effects. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1061/JGGEFK.GTENG-11242>
- [9] K Artati, H., Pawirodikromo, W., & Purwanto, E. (2020). *Analisis Potensi Likuifaksi Pada Pasir Vulkanik Di Pantai Glagah Kulonprogo Berdasarkan Data N-SPT*. 108–120. <https://doi.org/https://doi.org/10.20885/teknisia.vol25.iss2.art6>
- [10] Kumar, D. R., Samui, P., & Burman, A. (2023). Suitability assessment of the best liquefaction analysis procedure based on SPT data. *Multiscale and Multidisciplinary Modeling Experiments and Design*, 6(2), 319–329. <https://doi.org/DOI10.1007/s41939-023-00148-x>
- [11] Legrans, R. R. I. (2016). Studi Potensi Likuifaksi Berdasarkan Uji Penetrasi Standar (SPT) Di Pesisir Pantai Belang Minahasa Tenggara. *Tekno*, 14(65), 37–48.
- [12] Maurer, B. W., Green, R. A., & Wotherspoon, L. (2017). *Assessing Liquefaction Susceptibility Using the CPT Soil Behavior Type Index*. <https://par.nsf.gov/servlets/purl/10051372>
- [13] Nguyen, N., Griffin, J., Cipta, A., & Cummins, P. R. (2015). *Indonesia's Historical Earthquakes: Modelled examples for improving the national hazard map*. <https://doi.org/10.11636/record.2015.023>
- [14] Priyadi, P. A., Widhatra, H., Zakariya, A., Wulandari, O., Indraswari, N., Hafizha, N. S., & Petra, J. (2023). *Liquefaction Potential Identification Based on Zonation, Soil Characteristics, and Semi-Empirical Approach (Case Study: Flyover Design in Java Island)*. October. <https://doi.org/10.58674/phpji.v16i1.312>
- [15] Rios, S., Millen, M., & Quintero, J. (2022). *Analysis of simplified time of liquefaction triggering methods by laboratory tests, physical modelling and numerical analysis*. 157(April). <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107261>
- [16] Yi, F. (2018). *Estimating soil fines contents from CPT data (Paper # 3-22)*. March.
- [17] Zakariya, A., Rifa'i, A., & Ismanti, S. (2023). The Correlation of Liquefaction Potential and Probability on Excess Pore Water Pressure in Kretek 2 Bridge Area. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 39–48. <https://doi.org/10.22146/jcef.7002>