



## ANALISIS KERENTANAN TANAH TERHADAP BAHAYA LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA PENGUJIAN SPT

Muhammad Kautsar Rizki<sup>a</sup>, Halida Yunita<sup>b</sup>, Bambang Setiawan<sup>c,\*</sup>, Zulkifli Zulkifli<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

<sup>b</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

<sup>c</sup>Prodi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

<sup>d</sup>Prodi Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

\*Corresponding author, email address: bambang.setiawan@unsyiah.ac.id

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article History:</i> Received 15 Oktober 2021 Accepted 28 December 2021 Online 30 December 2021</p> <p><i>Keywords:</i> Earthquake Liquefaction Sand layers Magnitudes</p>	<p>Aceh is a province in Indonesia that was hit significantly by the 26 December 2004 disaster. The province was also hit by the M 6.5 Pidie Jaya earthquake on 7 December 2016. Several damages induced by liquefaction, i.e., sand boils, were observed in these two seismic events. Liquefaction is defined as the transformation of granular material from a solid to a liquefied state. This Liquefaction phenomenon can cause damage to buildings and infrastructures built on it. This study presents the results of liquefaction assessment using the standard penetration test (SPT). A borehole was sunk at Rundeng Village, Johan Pahlawan sub-district, Aceh Barat district to collect the SPT data. This location was selected as several facts, i.e., low water table, built of sand layer, and high seismicity region were suggested for this Rundeng village. Three different models of Esteva (1974), Donovan (1970), and Mc Guirre (1977) were used to estimate the cyclic stress ratio (CSR). A model developed by Seed and Idriss (1982) was employed to estimate the cyclic resistance ratio (CRR). From the calculation of potential liquefaction evaluation, the cyclic stress ratio (CSR) value highly depends on the earthquake magnitude. The greater the earthquake magnitude, the greater the CSR value becomes. Soil layers from SPT data at a depth of 3,50 m – 13,00 m have a value of <math>(N_1)_{60cs} &gt; 30</math> which means the soil is too dense to liquefy and classified as non-liquefiable soil. From the SPT data, it can be seen the soil will be liquefied if an earthquake with a magnitude <math>\geq 8</math> occurs.</p>

©2021 Magister Teknik Sipil USK. All rights reserved

### 1. PENDAHULUAN

Aceh adalah satu-satunya provinsi di Indonesia yang pernah terdampak paling parah secara langsung bencana gempa paling besar pada 26 Desember 2004 dengan magnitude gempa 9,3 (Tohari dkk, 2015), kemudian disusul dengan kejadian gempa di Kabupaten Pidie Jaya pada 7 Desember 2016 dengan magnitude 6.5 (PuSGeN, 2017). Bencana gempa di Kabupaten Pidie Jaya telah mengakibatkan kerusakan geologi berupa pergeseran tanah, retakan tanah, dan likuifaksi. Likuifaksi dicirikan dengan munculnya pasir halus diantara retakan tanah dan gunung pasir (*sand boil*). Likuifaksi adalah suatu perubahan material tanah yang berbentuk butiran dari keadaan padat menjadi keadaan cair yang disebabkan oleh kenaikan tekanan air pori dan penurunan tegangan efektifnya (Marcuson, 1978; Seed dkk., 2003; Setiawan dkk., 2011; Setiawan & Jaksa, 2018). Kenaikan tekanan air pori cenderung terjadi ketika material tanah berbentuk butiran yang jenuh air dengan kepadatan rendah mengalami guncangan berulang (siklik) akibat gempa.

Fenomena likuifaksi ini dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan dan infrastruktur yang dibangun di atasnya (Seed dkk., 2003; Yulianur dkk., 2020).

Berdasarkan fenomena likuifaksi, maka penting bagi kita untuk menganalisa potensi likuifaksi ketika akan membangun suatu konstruksi di atas tanah yang berpotensi terjadi likuifaksi. Dalam menganalisa potensi likuifaksi diperlukan pengujian lapangan dan pengujian laboratorium. Pengujian yang biasa dilakukan pada lapangan ialah pengujian *standard penetration test* (SPT), pengujian *cone penetration test* (CPT), pengujian *becker penetration test* (BPT), dan pengukuran kecepatan rambat gelombang geser ( $V_s$ ) yang mana memiliki kelebihan dan kekurangan dari masing-masing metode pengujian. Pada penelitian ini akan digunakan data dari hasil pengujian SPT. Evaluasi potensi likuifaksi berdasarkan data SPT telah digunakan selama bertahun-tahun dan memiliki kelebihan dapat mengambil sampel tanah, tidak seperti pengujian lapangan lainnya.

Salah satu Kabupaten di Provinsi Aceh yang memiliki potensi terjadinya likuifaksi adalah Kabupaten Aceh Barat yang berada di daerah pesisir barat Aceh. Kondisi geologi lapisan tanah di Kabupaten Aceh barat, khususnya pada Desa Rundeng Kecamatan Johan Pahlawan secara umum adalah lapisan pasir dengan muka air tanah yang dangkal, kondisi ini mengindikasikan terjadinya likuifaksi jika terjadi gempa pada magnitudo tertentu.

Muntohar (2012) menyebutkan bahwa likuifaksi akibat gempa bumi dipengaruhi oleh 3 faktor seismik yaitu magnitudo gempa ( $M$ ), percepatan seismik pada permukaan tanah ( $a_{max}$ ), dan jarak episentrum. Menurut Seed dan Idriss (1971) sebagaimana dikutip oleh Irmayanti (2011), untuk menganalisis kemungkinan terjadi likuifaksi diasumsikan bahwa selama berlangsungnya getaran gempa belum terjadi dissipasi yang berarti dengan perkataan lain belum terjadi redistribusi tekanan air pori pada masa tanah. Akibat beban siklik, tanah mengalami tekanan sebelum air sempat keluar meninggalkan pori. Hal ini menyebabkan tekanan air pori meningkat, sebaliknya tegangan efektif berkurang dan dengan demikian kekuatan geser juga berkurang.

Pada suatu lapisan pasir jenuh air, pengaruh dari getaran-getaran gempa bumi atau dibebani secara siklik, akan mengalami perubahan sifat yaitu dari sifat padat ke sifat cair yang dapat mengakibatkan peningkatan tekanan air pori dan pengaruh tegangan efektif, sehingga memungkinkan terjadi suatu gejala yang disebut likuifaksi yang merupakan gejala keruntuhan struktur tanah. Hal ini dapat dijelaskan dengan menggunakan rumus tegangan efektif dari Terzaghi (Persamaan 1) dan rumus kekuatan geser dari Coulomb (Persamaan 2) yang dapat dilihat di bawah ini, untuk tanah pasir jenuh air yang ditinjau pada suatu kedalaman dari permukaan tanah.

Rumus untuk tegangan efektif (Terzaghi, 1923 dikutip dalam Guerriero & Mazzoli, 2021) menggunakan parameter-parameter, antara lain:  $\sigma_{eff}$  untuk tegangan yang sebenarnya bekerja pada butir tanah ( $kg/cm^2$ ),  $\sigma_{tot}$  untuk tegangan akibat beban-beban yang bekerja ( $kg/cm^2$ ), dan  $u$  untuk tekanan air pori ( $kg/cm^2$ ).

$$\sigma_{eff} = \sigma_{tot} - u \quad (1)$$

dimana  $\sigma_{eff}$  : tegangan yang sebenarnya bekerja pada butir tanah ( $kg/cm^2$ );  $\sigma_{tot}$  = tegangan akibat beban-beban yang bekerja ( $kg/cm^2$ ); dan  $u$  = tekanan air pori ( $kg/cm^2$ ).

Rumus kekuatan geser merujuk pada Coulomb (1776), sebagai berikut:

$$S = c + (\sigma_{eff} \times \tan\phi) \quad (2)$$

dimana  $S$  = kekuatan geser tanah ( $kg/cm^2$ );  $c$  = kohesi ( $kg/cm^2$ ); dan  $\phi$  = sudut geser dalam sehubungan dengan tegangan efektif ( $^\circ$ ). Terlihat dengan jelas dari kedua rumus di atas bahwa peningkatan tekanan air pori akan berarti mengurangi tegangan efektif dan sekaligus mengurangi kekuatan geser dari tanah yang bersangkutan. Dapat juga terjadi bahwa  $u = \sigma_{tot}$  sehingga berdasarkan rumus (1) maka  $\sigma_{eff} = 0$ , ini berarti

lapisan tanah tersebut hampir dapat dikatakan tidak mempunyai kekuatan geser sama sekali dan berperilaku seperti fluida.

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di daerah pesisir barat Aceh, yaitu pada Kota Meulaboh. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa stabilitas lapisan tanah berpasir terhadap kemungkinan likuifaksi pada saat terjadinya gempa bumi. Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari pengujian *standard penetration test* (SPT). Data yang telah diperoleh kemudian disusun dan dianalisis dengan metode *simplified procedure* yang membandingkan nilai *cyclic stress ratio* (CSR) dengan *cyclic resistance ratio* (CRR) untuk mengetahui apakah lapisan tanah berpasir akan terlikuifaksi atau tidak.

#### Penentuan Parameter Gempa

Pada penelitian ini data gempa diperoleh dari kantor BMKG kelas III Mata Ie yang berkenaan dengan gempa bumi untuk lokasi yang ditinjau. Data yang diambil adalah data gempa dalam 10 tahun terakhir dengan magnitude  $\geq 5,0$  dan radius 500 km dari lokasi tinjauan.

#### Magnitude Gempa

Data magnitude gempa yang diperoleh dari dari kantor BMKG kelas III Mata Ie adalah data gempa dengan tipe magnitude lokal ( $M_L$ ), tanggal dan waktu, koordinat gempa serta kedalaman gempa. Tipe magnitude yang digunakan pada penelitian ini adalah magnitude momen ( $M_W$ ), PuSGeN (2017) mengatakan bahwa konversi  $M_L$  ke  $M_W$  tidak perlu dilakukan karena nilai kedua magnitude hampir sebanding.

#### Percepatan tanah maksimum ( $a_{max}$ )

Nilai percepatan tanah maksimum dalam analisis ini didapatkan dari pengolahan data gempa menggunakan metode Donovan, Esteva, dan McGuirre (Pasua dkk., 2018). Nilai  $a_{max}$  yang digunakan adalah nilai untuk masing-masing magnitude gempa rencana dengan ketiga rumus empiris.

a. Percepatan tanah maksimum menurut Esteva (1974) dalam Pasua dkk. (2018)

$$a_{max} = 5600[(\exp^{0.8M_w}) / (R + 40)^2] \quad (3)$$

b. Percepatan tanah maksimum menurut Donovan (1970) dalam Pasua dkk. (2018)

$$a_{max} = 1080[(\exp^{0.5M}) / (R + 25)^{1.32}] \quad (4)$$

c. Percepatan tanah maksimum menurut Mc Guirre (1977) dalam Pasua dkk. (2018)

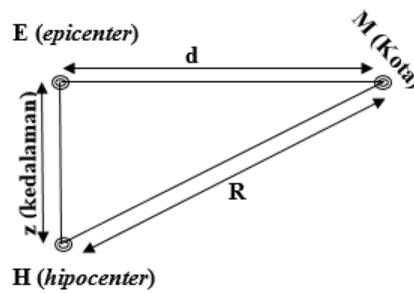
$$a_{max} = 472[(10^{0.278M_w}) / (R + 25)^{1.301}] \quad (5)$$

#### Hubungan episenter, hiposenter dan jarak hiposenter ke kota

Pada Gambar 1 di bawah, jarak hiposenter ke kota (R) dapat dihitung dengan Teorema Pythagoras, sedangkan untuk jarak horizontal episenter ke kota dapat dihitung dengan persamaan:

$$d = \arcsin [\sin(E_{lat}) \cdot \sin(M_{lat}) + \cos(E_{lat}) \cdot \cos(M_{lat}) \cdot \cos(E_{long} - M_{long}) \cdot R_b] \quad (6)$$

dimana  $R_b$  = Radius jari-jari bumi (6371 Km).



Gambar 1. Ilustrasi Jarak Horizontal dari Pusat Gempa Bumi

### Magnitude Scaling Factor (MSF)

Penggunaan nilai CRR pada metode *simplified procedure* terbatas hanya pada gempa dengan magnitudo 7,5 saja, untuk menyesuaikan dengan magnitudo yang lebih besar atau kecil, digunakan sebuah faktor koreksi dengan persamaan sebagai berikut :

$$MSF = 10^{2.2} / M_w^{2.56} \quad (7)$$

### Evaluasi Potensi Likuifaksi dan Evaluasi CSR

Potensi likuifaksi akan dievaluasi menggunakan nilai faktor keamanan (FS) dari perbandingan nilai CRR terhadap nilai CSR dan juga menggunakan grafik. CSR adalah tegangan yang dihasilkan oleh gempa bumi pada tanah. Dalam penentuan nilai CSR, hal yang paling dipertimbangkan adalah nilai dari  $a_{max}$ . Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai CSR adalah sebagai berikut:

$$CSR = 0,65 \left( \frac{a_{max}}{g} \right) \left( \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) r_d \quad (8)$$

Dimana  $r_d$  dapat ditentukan dengan persamaan :

$$r_d = 1,0 - 0,00765z \quad \text{untuk } z \leq 9,15\text{m} \quad (9)$$

$$r_d = 1,174 - 0,0267z \quad \text{untuk } 9,15\text{m} < z \leq 23\text{m} \quad (10)$$

### Evaluasi CRR

CRR adalah sebuah nilai yang mencerminkan kekuatan tanah terhadap beban siklik yang diakibatkan oleh gempa bumi. Nilai CRR ini hanya dapat digunakan untuk gempa dengan magnitudo 7.5, maka dari itu nilai CRR yang didapat harus dikalikan dengan *magnitude scaling faktor* (MSF) agar dapat digunakan pada magnitudo gempa lainnya.

Langkah-langkah yang harus dilakukan untuk mendapatkan nilai CRR dari SPT adalah sebagai berikut :

a. Menentukan nilai  $(N_1)_{60}$  menggunakan faktor koreksi dengan persamaan:

$$(N_1)_{60} = N_m C_N C_E C_B C_R \quad (11)$$

Dimana  $N_m$  adalah nilai tahanan penetrasi standar, dan yang lainnya adalah faktor koreksi. Namun untuk nilai  $C_N$  digunakan persamaan yang lebih sesuai dengan kurva asli oleh Seed dan Idriss (1982):

$$C_N = \left[ \frac{2,2}{\left(1,2 + \frac{\sigma_{v0}}{P_a}\right)} \right] \leq 1,7 \quad (12)$$

b. Menentukan *Finest Content* lalu hitung  $(N_1)_{60,cs}$  yang dipengaruhi oleh nilai *Finest Content* itu sendiri.

$$(N_1)_{60,cs} = \alpha + \beta(N_1)_{60} \quad (13)$$

Dimana  $\alpha$  dan  $\beta$  adalah koefisien yang didapatkan dari hubungan persamaan berikut:

$$\alpha = 0 \quad \text{untuk } FC \leq 5\% \quad (14a)$$

$$\alpha = \exp \left[ 1,76 - \left( \frac{190}{FC^2} \right) \right] \quad \text{untuk } 5\% < FC \leq 35\% \quad (14b)$$

$$\alpha = 5,0 \quad \text{untuk } FC \geq 35\% \quad (14c)$$

$$\beta = 1 \quad \text{untuk } FC \leq 5\% \quad (15a)$$

$$\beta = \left[ 0,99 + \left( \frac{FC^{1,5}}{1000} \right) \right] \quad \text{untuk } 5\% < FC \leq 35\% \quad (15b)$$

$$\beta = 1,2 \quad \text{untuk } FC \geq 35\% \quad (15c)$$

c. Menentukan nilai  $CRR_{7,5}$  pada gempa dengan magnitudo 7.5

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60,CS}} + \frac{(N_1)_{60,CS}}{135} + \frac{50}{[10(N_1)_{60,CS} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (16)$$

d. Menghitung nilai  $CRR$  terkoreksi dengan persamaan berikut :

$$CRR_{Mw} = CRR_{7,5} \times MSF \quad (17)$$

e. Lalu langkah terakhir adalah menghitung faktor keamanan terhadap likuifaksi dengan persamaan berikut.

$$FS = \left( \frac{CRR_{Mw}}{CSR} \right) \quad (18)$$

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Percepatan tanah maksimum ( $a_{max}$ )

Nilai percepatan tanah maksimum diperoleh dari pengolahan data magnitudo gempa. Nilai percepatan tanah maksimum yang digunakan adalah nilai untuk masing-masing magnitudo gempa rencana yaitu 5, 6, 7, 8, dan 9. Nilai percepatan tanah maksimum secara detil disajikan dalam **Tabel 1**.

Grafik pada **Gambar 2** menunjukkan bahwa percepatan tanah maksimum yang dihitung dengan metode Mc Guirre memiliki nilai percepatan paling besar dibandingkan metode Donovan dan metode Esteva. Hasil nilai percepatan gempa yang lebih kecil dari metode Mc Guirre adalah percepatan tanah maksimum dengan menggunakan metode Donovan. Selanjutnya percepatan tanah maksimum menggunakan metode Esteva diperoleh nilai percepatan gempa paling kecil. Namun demikian, pada

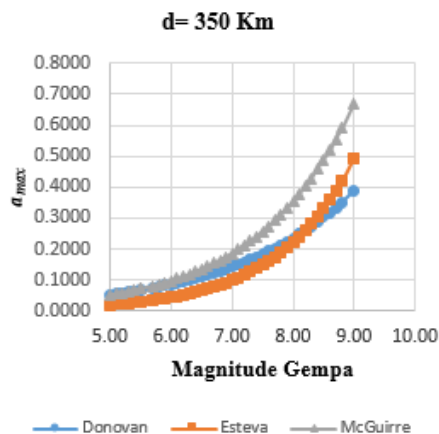
magnitude  $\geq 8.4$  nilai percepatan metode Esteva akan menjadi lebih besar dibandingkan dengan nilai percepatan metode Donovan.

**Tabel 1.** Percepatan tanah maksimum ( $a_{max}$ )

Magnitude	d (km)	R (km)	$a_{max}$ (gal)			$a_{max}$ (g)		
			Donovan (1970)	Esteva (1974)	McGuire (1977)	Donovan (1970)	Esteva (1974)	McGuire (1977)
5	350	350,1	5,263	2,009	5,187	0,053	0,020	0,052
6	350	350,1	8,677	4,470	9,838	0,087	0,045	0,098
7	350	350,1	14,306	9,949	18,660	0,143	0,099	0,187
8	350	350,1	23,586	22,142	35,393	0,236	0,221	0,354
9	350	350,1	38,887	49,279	67,129	0,389	0,493	0,671

### Pengolahan data SPT

Data SPT dapat digunakan untuk mengetahui nilai-nilai yang diperlukan untuk perhitungan potensi likuifaksi seperti nilai tegangan efektif ( $\sigma'_{vo}$ ) dan tegangan total ( $\sigma_{vo}$ ) tiap lapisan serta *finer content* (FC). Kemudian data yang telah ada diolah untuk menghitung nilai CRR dan CSR.



**Gambar 2.** Grafik perbandingan Percepatan Tanah Maksimum untuk jarak epicenter 350 km

### Menghitung nilai $(N_1)_{60}$ tekoreksi

Nilai  $(N_1)_{60}$  tekoreksi didapatkan dari nilai pukulan SPT ( $N_m$ ) dikalikan dengan faktor koreksinya. Nilai  $(N_1)_{60}$  tekoreksi secara lengkap disajikan dalam **Tabel 2**. Dari **Table 2** dapat dilihat bahwa nilai  $(N_1)_{60}$  yang paling besar berada pada lapisan dengan kedalaman 5.00 – 6.50 m. Nilai  $C_N$  sangat tergantung pada nilai tegangan *overburden* efektif, semakin dalam lapisan maka nilai  $C_N$  akan semakin kecil.

### Menghitung nilai $(N_1)_{60cs}$

Nilai  $(N_1)_{60cs}$  didapatkan melalui persamaan (13), hasil dari perhitungan adalah seperti pada **Tabel 3**. Dari **Tabel 3** didapatkan hasil berupa nilai  $(N_1)_{60cs}$  rata-rata mengalami peningkatan, kecuali pada nilai  $(N_1)_{60cs}$  yang mengandung 1.12% *finer content* (FC). Selanjutnya nilai  $(N_1)_{60cs}$  akan digunakan untuk menghitung nilai CRR<sub>7.5</sub>.

**Tabel 2.** Hasil perhitungan  $(N_1)_{60}$  tekoreksi

z (m)	N-SPT		Faktor Koreksi				$(N_1)_{60}$
	$N_m$	$C_N$	$C_E$	$C_B$	$C_R$	$C_S$	
0,80-2,00	17	1,66	0,75	1,0	0,75	1,2	19
2,00-3,50	18	1,48	0,75	1,0	0,8	1,2	19
3,50-5,00	38	1,35	0,75	1,0	0,85	1,2	39
5,00-6,50	57	1,24	0,75	1,0	0,95	1,2	60
6,50-8,00	52	1,14	0,75	1,0	0,95	1,2	51
8,00-10,00	52	1,03	0,75	1,0	0,95	1,2	46
10,00-11,00	51	0,99	0,75	1,0	1,0	1,2	45
11,00-13,00	60	0,91	0,75	1,0	1,0	1,2	49
13,00-14,50	33	0,86	0,75	1,0	1,0	1,2	26
14,50-15,75	27	0,83	0,75	1,0	1,0	1,2	20

**Tabel 3.** Hasil perhitungan  $(N_1)_{60cs}$

$(N_1)_{60}$	FC (%)	$\alpha$	$\beta$	$(N_1)_{60cs}$
19	14,22	2,27	1,04	22
19	14,22	2,27	1,04	22
39	1,12	0,00	1,00	39
60	1,12	0,00	1,00	60
51	9,97	0,86	1,02	53
46	9,97	0,86	1,02	48
45	23,8	4,16	1,11	54
49	33,83	4,92	1,19	63
26	14,22	2,27	1,04	29
20	50,3	5,00	1,20	29

**Tabel 4.** Hasil perhitungan  $CRR_{7.5}$

Kedalaman, z (m)	Ketebalan, H (m)	$(N_1)_{60cs}$	$CRR_{7.5}$
0,80-2,00	1,20	22	0,24
2,00-3,50	1,50	22	0,25
3,50-5,00	1,50	39	0,10
5,00-6,50	1,50	60	0,41
6,50-8,00	1,50	53	0,33
8,00-10,00	2,00	48	0,28
10,00-11,00	1,00	54	0,35
11,00-13,00	2,00	63	0,43
13,00-14,50	1,50	29	0,41
14,50-15,75	1,25	29	0,42

### Menghitung nilai $CRR_{7.5}$

Nilai  $CRR_{7.5}$  kemudian dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (16). Nilai Nilai  $CRR_{7.5}$  bervariasi dari 0,1 hingga 0,43. Hasil dari perhitungan  $CRR_{7.5}$  seperti disajikan dalam **Tabel 4**. Nilai  $CRR_{7.5}$  pada tanah dengan kedalaman 3.5 m – 13.00 m tidak dapat digunakan karena memiliki nilai  $(N_1)_{60cs} > 30$  yang diklasifikasikan sebagai tanah *non-liquefable* atau tidak terliquifikasi (TL).

### 4. Menghitung *magnitude scaling factor* (MSF)

MSF digunakan untuk melakukan penyetaraan. Hal tersebut dikarenakan  $CRR_{7.5}$  hanya berlaku untuk gempa dengan magnitude 7.5 saja, maka dari itu  $CRR_{7.5}$  harus dikalikan dengan MSF untuk magnitude gempa yang lainnya. Hasil perhitungan MSF disajikan dalam **Tabel 5**.

**Tabel 5.** Hasil perhitungan MSF

Kedalaman, z (m)	H (m)	MSF				
		5	6	7	8	9
0,80-2,00	1,20	2,8	1,8	1,2	0,8	0,6
2,00-3,50	1,50	2,8	1,8	1,2	0,8	0,6
3,50-5,00	1,50	2,8	1,8	1,2	0,8	0,6
5,00-6,50	1,50	2,8	1,8	1,2	0,8	0,6
6,50-8,00	1,50	2,8	1,8	1,2	0,8	0,6
8,00-10,00	2,00	2,8	1,8	1,2	0,8	0,6
10,00-11,00	1,00	2,8	1,8	1,2	0,8	0,6
11,00-13,00	2,00	2,8	1,8	1,2	0,8	0,6
13,00-14,50	1,50	2,8	1,8	1,2	0,8	0,6
14,50-15,75	1,25	2,8	1,8	1,2	0,8	0,6

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa nilai MSF akan semakin mengecil seiring bertambahnya besaran magnitude gempa. Selanjutnya, setelah nilai MSF didapat maka dapat dihitung  $CRR_{Mw}$ .

### 5. Menghitung $CRR_{Mw}$ untuk gempa rencana

Nilai  $CRR_{Mw}$  didapatkan dari nilai  $CRR_{7.5}$  dikalikan dengan MSF. Hasil dari perhitungan nilai  $CRR_{Mw}$  adalah disajikan dalam **Tabel 6**.

**Tabel 6.** Hasil perhitungan  $CRR_{Mw}$

Kedalaman, z (m)	$CRR_{Mw}$				
	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
0,80-2,00	0,69	0,43	0,29	0,21	0,15
2,00-3,50	0,70	0,44	0,29	0,21	0,15
3,50-5,00	0,27	0,17	0,12	0,08	0,06
5,00-6,50	1,14	0,72	0,48	0,34	0,25
6,50-8,00	0,94	0,59	0,40	0,28	0,21
8,00-10,00	0,78	0,49	0,33	0,23	0,17
10,00-11,00	0,98	0,62	0,42	0,30	0,22
11,00-13,00	1,21	0,76	0,51	0,36	0,27
13,00-14,50	1,15	0,72	0,48	0,34	0,25
14,50-15,75	1,18	0,74	0,50	0,36	0,26



Nilai  $CRR_{Mw}$  pada tanah dengan kedalaman 3.5 m – 13.00 m tidak dapat digunakan karena memiliki nilai  $(N_1)_{60cs} > 30$  diklasifikasikan sebagai tanah *non-liquefable (NL)* atau tidak terliuifaksi (TL).

**Tabel 7.** Hasil Perhitungan Tegangan *Overburden*

$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (KN/m <sup>3</sup> )	H (m)	$\sigma_{vo}$ (KN/m <sup>2</sup> ) kumulatif	$\sigma'_{vo}$ (KN/m <sup>2</sup> ) kumulatif
20,63	10,63	1,20	24,76	12,76
20,63	10,63	1,50	55,70	28,70
19,76	9,76	1,50	85,35	43,35
19,76	9,76	1,50	114,99	57,99
20,34	10,34	1,50	145,50	73,50
20,34	10,34	2,00	186,19	94,19
19,76	9,76	1,00	205,95	103,95
19,68	9,68	2,00	245,31	123,31
19,68	9,68	1,50	274,83	137,83
17,53	7,53	1,25	296,74	147,24

**Tabel 8.** Hasil Perhitungan CSR untuk Magnitude 5

Kedalaman, z (m)	$r_d$	g	CSR		
			Donovan (1970)	Esteva (1974)	McGuire (1977)
0,8-2,00	0,98	1,00	0,067	0,024	0,064
2,00-3,50	0,97	1,00	0,064	0,024	0,063
3,50-5,00	0,96	1,00	0,064	0,024	0,063
5,00-6,50	0,95	1,00	0,064	0,024	0,063
6,50-8,00	0,94	1,00	0,063	0,024	0,062
8,00-10,00	0,91	1,00	0,061	0,023	0,060
10,00-11,00	0,88	1,00	0,059	0,022	0,058
11,00-13,00	0,83	1,00	0,056	0,021	0,055
13,00-14,50	0,79	1,00	0,053	0,020	0,052
14,50-15,75	0,75	1,00	0,051	0,019	0,051

### Perhitungan nilai CSR

Sebelum menghitung nilai CSR dibutuhkan nilai percepatan tanah maksimum ( $a_{max}$ ), tegangan *overburden* dan faktor reduksi. Hasil perhitungan tegangan *overburden* dapat dilihat pada **Tabel 7** dan perhitungan nilai CSR dapat dilihat pada **Tabel 8**. Dari Tabel 8 dapat diketahui bahwa semakin dalam lapisan tanah maka nilai CSR akan semakin mengecil, sebaliknya semakin dangkal lapisan tanah maka semakin besar pula nilai CSR

### Perhitungan *factor of safety (FS)*

Nilai CRR dan CSR yang telah didapatkan pada perhitungan sebelumnya kemudian diolah dengan menggunakan persamaan (17) untuk mendapatkan nilai FS dan dapat dilihat pada **Tabel 9**. Tanah pada kedalaman 3,5 m – 13,00 m diklasifikasikan sebagai tanah *non-liquefable* atau tidak terliuifaksi (TL). Nilai CSR dan CRR juga dapat diplot kedalam suatu grafik yang dapat memisahkan antara bagian

terlikuifaksi dengan yang tidak terlikuifaksi. Hasil dari nilai CSR digunakan untuk menggambarkan ambang batas antara lapisan tanah yang akan berpeluang untuk terlikuifaksi (L) dengan tanah yang tidak berpeluang untuk terlikuifaksi (TL). Grafik evaluasi terhadap likuifaksi dapat dilihat pada **Gambar 3**. Bagian kiri dari kurva CSR dikategorikan sebagai zona yang rawan terlikuifaksi, sedangkan bagian kanan dari kurva CSR merupakan zona untuk lapisan tanah yang tidak rentan terlikuifaksi.

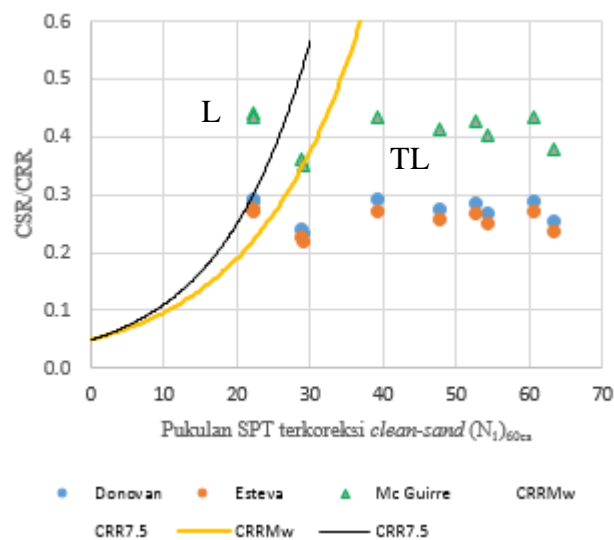
**Tabel 9.** Hasil Perhitungan FS untuk Magnitude 8

z (m)	CSR			FS		
	Donovan (1970)	Esteva (1974)	McGuire (1977)	Donovan (1970)	Esteva (1974)	McGuire (1977)
0,80-2,00	0,29	0,27	0,43	0,71	0,75	0,47
2,00-3,50	0,28	0,27	0,43	0,72	0,77	0,48
3,50-5,00	0,29	0,27	0,43	TL	TL	TL
5,00-6,50	0,28	0,27	0,43	TL	TL	TL
6,50-8,00	0,28	0,26	0,42	TL	TL	TL
8,00-10,00	0,27	0,25	0,41	TL	TL	TL
10,00-11,00	0,26	0,25	0,40	TL	TL	TL
11,00-13,00	0,25	0,23	0,37	TL	TL	TL
13,00-14,50	0,24	0,225	0,360	1,43	1,52	0,95
14,50-15,75	0,23	0,218	0,349	1,53	1,62	1,02

Kurva CRR pada Gambar 3 membagi grafik menjadi 2 bagian, bagian atas dari kurva CRR merupakan daerah yang terlikuifaksi, sedangkan bagian bawah dari kurva tersebut adalah daerah yang tidak terlikuifaksi.

### Pembahasan

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi terjadinya likuifaksi pada lokasi tinjauan dengan menggunakan metode *simplified procedure*. Likuifaksi biasanya terjadi pada lapisan tanah berpasir yang jenuh air dan mengalami guncangan akibat gempa. Lapisan tanah dari data SPT pada kedalaman 3,50 m – 13,00 m memiliki nilai  $(N_1)_{60cs} > 30$  yang artinya butiran tanah terlalu padat untuk terlikuifaksi dan diklasifikasikan sebagai tanah *non-liquefable*. Dari data SPT dapat dilihat bahwa tanah akan terlikuifaksi apabila terjadi gempa dengan magnitude  $\geq 8$ , seperti disajikan dalam **Tabel 10**.



**Gambar 3.** Grafik Evaluasi Potensi Likuifaksi

**Tabel 10.** Rekapitulasi Evaluasi Potensi Likuifaksi untuk Gempa dengan Magnitude 8

Z (m)	SPT			Kesimpulan
	Donovan (1970)	Esteva (1974)	McGuire (1977)	
0,80-2,00	L	L	L	L
2,00-3,50	L	L	L	L
3,50-5,00	TL	TL	TL	TL
5,00-6,50	TL	TL	TL	TL
6,50-8,00	TL	TL	TL	TL
8,00-10,00	TL	TL	TL	TL
10,00-11,00	TL	TL	TL	TL
11,00-13,00	TL	TL	TL	TL
13,00-14,50	TL	TL	L	L
14,50-15,75	TL	TL	TL	TL

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis likuifaksi pada lapisan tanah berpasir di lokasi penelitian dengan menggunakan metode *simplified procedure* maka dapat ditarik beberapa kesimpulan dan saran. Tujuan akhir dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi terjadinya likuifaksi pada lokasi tinjauan serta untuk mengetahui pengaruh parameter gempa terhadap potensi terjadinya likuifaksi. Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai CSR sangat dipengaruhi oleh nilai  $a_{max}$  dan magnitude gempa.
2. Berdasarkan data SPT lapisan tanah pada kedalaman 0,80 m – 3,50 dan 13,00 m – 15,75 m terjadi likuifaksi apabila terjadi gempa dengan magnitude  $\geq 8$ .
3. Lapisan tanah pada kedalaman 3,5 m – 13,00 m memiliki nilai  $(N_1)_{60cs} > 30$  yang diklasifikasikan sebagai tanah *non-liquefiable*.

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, disarankan beberapa hal berikut:

1. Dalam menghitung potensi likuifaksi sebaiknya dilakukan dengan menggunakan beberapa metode ataupun dengan data tanah yang berbeda (SPT dan CPT).
2. Jumlah titik pengujian SPT dan CPT diperbanyak dalam melakukan analisa likuifaksi, dengan tujuan agar membandingkan hasil perhitungan antara satu titik pengujian dengan titik lainnya.
3. Menggunakan metode probabilitas untuk menentukan nilai percepatan tanah maksimum ( $a_{max}$ ) sesuai dengan SNI 03-1726 tahun 2002.
4. Tindakan preventif yang dapat dilakukan adalah perbaikan tanah dengan beberapa metode seperti *sand compaction pile*, *deep soil mixing*, *grouting*, dan *stone column*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Guerriero, V., Mazzoli, S. 2021. Theory of Effective Stress in Soil and Rock and Implications for Fracturing Processes: A Review. *Geosciences*. 11, pp. 119.
- Irmayanti, 2011. *Analisis Potensi Likuifaksi Lapisan Pasir pada Lokasi Jembatan Santan Banda Aceh*, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- Marcuson, W. F. 1978. Definition of Terms Related to Liquefaction. *J. Geotech. Engrg. Div.*, ASCE, 104 (9), pp. 1197-1200.
- Muntohar, A. S. 2012. Studi Parametrik Potensi Likuifaksi dan Penurunan Permukaan Tanah Berdasarkan Uji Sondir, *16<sup>th</sup> Annual Scientific Meeting*, Jakarta.
- Pasaua, G., Bobantoa, M.D., Pandaraa, D.P. 2018. Model Percepatan Tanah Maksimum Di Kota Manado Menggunakan Metode Donovan dan McGuire. *Jurnal MIPA Unsrat*, 7 (1), pp. 52 – 55.

- Pusat Studi Gempa Nasional (PusGen). 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*, PuSGeN, Bandung.
- Seed, H. B., Idriss, I. M. 1971. Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, Vol. 97 (No. SM9), 25.
- Seed, H. B., Idriss, I. M. 1982. Ground motions and soil liquefaction during earthquakes. *Earthquake Engineering Research Institute (EERI)*, pp. 127-134.
- Seed, R. B., Cetin, K. O., Moss, R. E. S., Kammerer, A. M., Wu, J., Pestana, J. M., et al. 2003. Recent advances in soil liquefaction engineering: A unified and consistent framework. *26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar*, Long Beach, California, USA.
- Setiawan, B., Jaksa, M. 2018. Liquefaction Assessment Using the CPT and Accounting for Soil Ageing. *Aceh International Journal of Science & Technology (AIJST)*, 7 (3), pp. 162 – 168.
- Setiawan, B., Jaksa, M., Kaggwa, W. 2011. Cone penetration test incorporating ageing method for liquefaction assessment. *Proceeding the 9th Indonesian Geotechnical Conference and 15th Annual Scientific Meeting “Geotechnical Engineering and Its Advance Developments from Theories to Practices” (HATTI)*, Grand Sahid Jaya Hotel – Jakarta, Indonesia 7-8 December 2011, pp. 241 – 246
- Tohari, A., Sugianti, K., Syahbana, A. J., Soebowo, E. 2015. Kerentanan Likuifaksi Wilayah Kota Banda Aceh Berdasarkan Metode Uji Penetrasi Konus. *Ris.Geo.Tam.*, 25(2), pp. 99-110.
- Yulianur, A., Saidi, T., Setiawan, B., Sugianto, S., Rusdi, M. 2020. Microtremor measurement at liquefaction-induced ground deformation area, *Journal of Engineering Science and Technology*, 15 (5), pp. 2871-2889