

# KAJIAN POTENSI LIKUIFAKSI LAPISAN TANAH MENGGUNAKAN METODE KORELASI EMPRIS NILAI CSR DAN CRR

Oleh: Rasdinanta Tarigan

Politeknik Negeri Medan

E-mail:

[rasdinantatarigan@polmed.ac.id](mailto:rasdinantatarigan@polmed.ac.id)

## ABSTRACT

*Indonesia is a country that is prone to earthquakes. This happens because the Indonesian plate is located between the Australian plate, the Eurasian plate and the Pacific plate. In addition, Indonesia is a group of volcanoes in the world so it is included in the Pacific Ring of Fire. Liquefaction is a phenomenon where the soil loses a lot of strength and stiffness in a short time. The soil contracts when the cyclic load occurs due to earthquake shaking, so that the air pressure increases to close to its normal limit. In order for the building to be stable on the ground, the soil layer must be safe from the danger of liquefaction. This liquefaction potential study is based on the value of the safety factor (FS) by comparing the value of the Cyclic Resistance Ratio (CRR) which is the resistance or strength to the occurrence of liquefaction with the value of the Cyclic Stress Ratio (CSR) which is the shear stress that occurs during an earthquake. The smallest value of safety factor (FS) obtained in the study at bore hole 3 (BH3) at layers 7.50 – 10.00 with a value of  $FS = 1,241 > 1$  at a magnitude of 8.5 SR. The value of the factor of safety (FS) of the soil layer is close to the safe threshold, although it is still safe against the danger of liquefaction.*

**Keywords:** Earthquake, Liquefaction, CSR, CRR, Safety Factor (FS)

## ABSTRAK

Indonesia merupakan negeri yang rentan akan terjadinya gempa bumi. Hal ini terjadi karena Indonesia terletak di antara lempeng Australia, lempeng Eurasia dan lempeng pasifik. Selain itu juga Indonesia merupakan gugusan gunung berapi di dunia sehingga termasuk dalam cincin api pasifik. Likuifaksi merupakan fenomena dimana tanah kehilangan banyak kekuatan (*strength*) serta kekakuannya (*stiffness*) dalam waktu yang pendek. Tanah berkontraksi pada saat timbulnya beban siklik yang terjadi akibat guncangan gempa, sehingga tekanan air pori meningkat mendekati ataupun melampaui tegangan normalnya. Agar bangunan stabil berdiri di atas permukaan tanah, maka lapisan tanah tersebut harus aman terhadap bahaya likuifaksi. Kajian potensi likuifaksi ini berdasarkan nilai faktor keamanan (FS) dengan dengan membandingkan nilai *Cyclic Resistensi Ratio* (CRR) yang merupakan tahanan atau kekuatan tanah terhadap terjadinya likuifaksi dengan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) yang merupakan tegangan geser yang timbul pada saat terjadinya gempa bumi. Nilai faktor keamanan (FS) terkecil yang diperoleh pada penelitian ini di *bore hole* 3 (BH3) pada lapisan 7.50 – 10.00 dengan dengan nilai  $FS = 1.241 > 1$  pada magnitude 8,5 SR. Nilai faktor keamanan (FS) lapisan tanah tersebut sudah mendekati ambang batas aman, meskipun masih aman terhadap bahaya likuifaksi.

**Kata Kunci:** Gempa bumi, Likuifaksi, CSR, CRR, Faktor Keamanan (FS).

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negeri yang rentan akan terjadinya gempa. Hal ini terjadi karena Indonesia terletak di antara lempeng Australia, lempeng Eurasia dan lempeng pasifik. Selain itu juga Indonesia merupakan gugusan gunung berapi di dunia sehingga termasuk dalam cincin api pasifik. Salah satu penyebab paling dramatis kerusakan struktur saat gempa adalah terjadinya likuifaksi pada endapan pasir jenuh. Pasir lepas (*loose sand*) cenderung berkontraksi pada saat timbulnya beban siklik yang terjadi akibat goncang-gempa, sehingga tekanan air pori meningkat mendekati ataupun melampaui tegangan normalnya. Hasilnya adalah pengurangan tegangan confining efektif di dalam tanah dan hilangnya kekuatan dan kekakuan yang berkontribusi terhadap deformasi pada lapisan tanah.

Lapisan tanah yang mengalami likuifaksi akan mengakibatkan kegagalan bangunan yang berdiri di atasnya. Kegagalan bangunan ini akan terjadi jika salah dalam menentukan jenis pondasi yang digunakan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah (*soil investigation*) adalah proses pengujian tanah dan pengambilan contoh tanah di lapangan guna untuk mengetahui karakteristik tanah tersebut. Salah satu penyelidikan tanah yang umum digunakan adalah pengeboran dengan menggunakan bor mesin. Pada penelitian ini pengeboran dilakukan sebanyak 3 (tiga) titik bor. Selama pengeboran, dilakukan pengamatan secara visual terhadap setiap lapisan tanah. Pada kedalaman tertentu dilakukan pengambilan contoh tanah (*disturbed sample dan undisturbed sample*) dan *Standard Penetration Test (SPT)*.

### Likuifaksi

Menurut Seed et al. (1975), likuifaksi merupakan proses pergantian

keadaan tanah pasir yang jenuh air jadi cair akibat meningkatnya tekanan air pori yang nilainya sama dengan tegangan total tanah disebabkan karena beban dinamik yang bekerja, sehingga tegangan efektif tanah jadi nol. Likuifaksi merupakan fenomena dimana tanah kehilangan banyak kekuatan (*strength*) serta kekakuannya (*stiffness*) dalam waktu yang pendek tetapi walaupun demikian likuifaksi jadi pemicu dari banyaknya kehancuran, dan kerugian ekonomi yang besar. Fenomena hilangnya kekuatan susunan tanah ini disebabkan oleh beban siklik yang timbul dari gempa bumi.

Ketika beban siklik bekerja, susunan tanah berubah menjadi cairan sehingga tidak sanggup menopang beban bangunan di dalam ataupun di atasnya. Likuifaksi umumnya terjadi pada tanah pasir yang jenuh air, dimana segala rongga-rongga dari tanah tersebut dipadati oleh air pori. Pada saat beban siklik bekerja, air pori ini memberikan tekanan pada partikel-partikel tanah sehingga kepadatan tanah tersebut menjadi terganggu.

### Syarat Terjadinya Likuifaksi

Likuifaksi terjadi dengan ketentuan tertentu, apabila sesuatu tanah tidakenuhi syarat-syarat tersebut, hingga tanah tersebut tidak berpotensi buat terjadi likuifaksi. Oleh sebab itu perencanaan pembangunan wajib menjauhi lapisan tanah yang sudah memenuhi syarat-syarat terbentuknya likuifaksi.

Potensi likuifaksi terjadi tergantung pada: distribusi tanah sedimen tanpa kohesi (kerikil, pasir, dan lanau dengan plastisitas sangat rendah). Sedimen yang paling rentan adalah jenis alluvial, fluvial, endapan delta, dan endapan yang terjadi karena tertiuap angin. Endapan jenis ini umumnya tidak padat. Sebagian besar sedimen ini bersifat jenuh, atau muka air tanah yang dangkal.

Potensi likuifaksi yang disebutkan di atas dapat terjadi bila gempa dengan kekuatan mencapai MMI (*Modified Mercally Intensity*) VI. MMI mengukur kekuatan gempa berdasarkan efek yang

ditimbulkannya, dengan skala I sampai XII. Pembagian skala MMI bisa dilihat pada table 1 berikut ini.

**Tabel 1. Hubungan antara Magnetude Local (ML), Percepatan Gempa ( $a_{max}$ ), Waktu Gempa, serta Skala Intensitas**

Lokal Magnitude (ML)	Percepatan gempa $a_{max}$	Waktu Gempa (det)	Skala Intensitas MMI
$\leq 2$	-	-	I - II
3	-	-	III
4	-	-	IV - V
5	0.09 g	2	VI - VII
6	0.22 g	12	VII - VIII
7	0.32 g	24	IX - X
$\geq 8$	$\geq 0.50$ g	$\geq 34$	XI - XII

(Sumber: Yaets et al., Gere and Shah dan Housner)

### Peristiwa Likuifaksi

Manifestasi umum dari likuifaksi adalah terjadinya pendidihan pasir (*sand boil*) atau semburan lumpur di permukaan tanah oleh rembesan air melalui retakan tanah atau, dalam beberapa kasus, oleh perkembangan kondisi seperti pasir hisap di area yang luas. Gambar 1 menunjukkan pasir mendidih sepanjang celah di tanah yang disebabkan oleh gempa bumi, dan Gambar 2 menunjukkan didih pasir setelah pendidihan yang disebabkan likuifaksi. Namun, kerusakan akibat likuifaksi jarang terjadi karena pasir mendidih sendiri, melainkan karena hilangnya kekuatan dan kekakuan dalam tanah yang telah dicairkan dan deformasi tanah yang terjadi.



**Gambar 1. Pendidihan pasir yang disebabkan oleh pencairan sedimen di bawahnya selama gempa bumi Miyagi-ken-Oki, Jepang 1978**



**Gambar 2. Pendidihan pasir (*sand boil*) akibat likuifaksi dari gempa bumi Loma Prieta 1989, California setelah kejadian.**

Beberapa ilustrasi paling dramatis terkait kerusakan infrastruktur sipil akibat likuifaksi, yaitu: gempa Niigata, Jepang 1964 dan gempa Prince William Sound, Alaska 1964, yang membantu mengidentifikasi likuifaksi sebagai masalah utama dalam rekayasa gempa bumi. Misalnya, hilangnya kekuatan geser dan kekakuan di pasir cair selama gempa bumi Niigata 1964 mengakibatkan kegagalan daya dukung bangunan (Gambar a), mengambanginya tangki tanam ke atas permukaan tanah (Gambar b), dan runtuhnya Jembatan Showa, disebabkan oleh likuifaksi dan gaya lateral yang bekerja selama gempa bumi Niigata 1964 (Gambar c). Keruntuhan geser (*slide*) yang terjadi di hulu Bendungan San Fernando setelah gempa bumi San Fernando 1971 (Gambar d). Berikut gambar dampak dari terjadinya likuifaksi (gambar 3).



(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 3. Efek dari terjadinya likuifaksi**

Nilai-Nilai Dalam Kajian Likuifaksi

Tata cara yang digunakan melalui kajian ini adalah merupakan tata cara yang disepakati oleh *workshop* tentang CRR oleh NCEER pada tahun 1996 serta tahun 1998, yang dilansir dalam *Journal Of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, volume 127, No 10, Oktober 2001, halaman 817- 833. *Workshop* tersebut diketuai oleh Youd, T. L. serta Idriss, I. M. *Workshop* tersebut pada dasarnya mengembangkan *simplified procedure* yang diusulkan oleh Seed serta Idriss, 1971, difokuskan pada analisis ketahanan tanah terhadap bahaya likuifaksi (CRR). (Idriss serta Boulanger, 2008).

Dalam suatu kajian potensi likuifaksi berdasarkan metode korelasi empiris diperlukan sesuatu nilai faktor keamanan. Untuk mendapatkan faktor keamanan ini diperlukan nilai-nilai seperti nilai *Cyclic Stress Ratio (CSR)* serta *Cyclic Resistance Ratio (CRR)* yang dinyatakan dalam persamaan berikut (Youd dan Idriss, 2001):

$$FS = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot MSF \quad (1)$$

Jika  $FS = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot MSF < 1$  (terjadi likuifaksi)

Jika  $FS = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot MSF = 1$  (kondisi kritis)

Jika  $FS = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot MSF > 1$  (tidak terjadi likuifaksi)

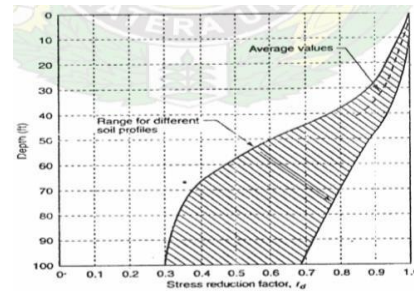
Nilai-nilai lain yang mempengaruhi dalam analisis likuifaksi, antara lain:

#### a. Nilai Koefisien Tegangan Reduksi (rd)

Koefisien tegangan reduksi ialah suatu faktor yang mengurangi tegangan dalam tanah. Nilai koefisien tegangan reduksi (rd) akan makin kecil jika makin dalam tanah yang ditinjau. Nilai rd merupakan faktor nonlinier pengurangan beban yang bermacam-macam terhadap kedalaman.

Bagi Seed and Idriss (1971) besar

darinilai reduksi pada tanah bersumber pada kedalamannya, tersaji dalam gambar 4 di bawah ini.



**Gambar 4. Grafik factor tegangan reduksi, rd (Seed and Idriss, 1971)**

Besar nilai CSR (*Cyclic Stress Ratio*) dipengaruhi oleh nilai rd. Makin besar nilai rd maka semakin besar nilai CSR sehingga potensi likuifaksi juga makin besar. Koefisien tegangan reduksi (rd) bisa ditetapkan berdasarkan persamaan berikut (Liao dan Whitemann, 1986).

$$rd = 1,00 - 0,00765z \quad \dots \quad z \leq 9,15 \text{ m} \quad (2)$$

$$rd = 1,174 - 0,0267z \quad \dots \quad 9,15 \leq z \leq 23 \text{ m} \quad (3)$$

$$rd = 0,744 - 0,008z \quad \dots \quad 23 \leq z \leq 30 \text{ m} \quad (4)$$

$$rd = 0,5z \quad \dots \quad z \geq 23 \text{ m} \quad (5)$$

dimana:

z = kedalaman tanah (m) yang dihitung

#### b. Nilai *Cyclic Stress Ratio (CSR)*

CSR adalah nilai perbandingan antara tegangan geser rata-rata yang disebabkan oleh gempa dengan tegangan vertikal efektif pada likuifaksi) CSR masing-masing susunan lapisan tanah. Nilai CSR pada lapisan tanah sangat dipengaruhi oleh nilai percepatan gempa (a).

Seed dan Idriss (1971) menyatakan bahwa tegangan siklik yang menyebabkan gempa dengan menggunakan nilai

representatif (atau nilai seragam setara) sama dengan 65% dari percepatan gempa maksimum (tegangan siklik puncak). Oleh karena itu, nilai CSR yang menyebabkan gempa yang sesuai dihitung sebagai:

$$\tau_{cyc} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \sigma_v \quad (6)$$

Karena kolom tanah berperilaku sebagai benda yang dapat berdeformasi, maka Seed dan Idriss (1971) memperhitungkan sebuah faktor reduksi kedalaman rd, sehingga persamaannya menjadi sebagai berikut:

$$\tau_{cyc} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \sigma_v rd \quad (7)$$

Sehingga persamaan nilai CSR dapat dituliskan sebagai berikut.

$$CSR = \frac{\tau_{cyc}}{\sigma^I v} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma v_o}{\sigma^I v_o}$$

$$CSR = \frac{\tau_{cyc}}{\sigma^I v} =$$

$a_{max}$  = percepatan gempa maksimum

$g$  = percepatan gravitasi

$\sigma_{vo}$  = tegangan vertikal *overburden*

$\sigma^I_{vo}$  = tegangan efektif vertical *overburden*

$rd$  = koefisien tegangan reduksi

Perbandingan tegangan total dengan tegangan efektif dapat dihitung dengan persamaan berikut (Das, 1993).

#### - Tegangan total

$$\sigma = H \cdot \gamma_w + (H_A - H) \cdot \gamma_{sat} \quad (9)$$

Dimana:

$\sigma$  = tegangan total (kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_w$  = berat isi air (9,81 kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_{sat}$  = berat isi tanah jenuh (kN/m<sup>3</sup>)

$H$  = tinggi muka air diukur dari permukaan tanah (m)

$H_A$  = jarak antara titik A dan muka air

#### - Tegangan efektif tanah

Tegangan efektif tanah dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\sigma' = \sigma - u \quad (10)$$

Dimana  $u$  adalah tekanan air pori tanah, yang dihitung dengan persamaan berikut.

$$u = H_A \cdot \gamma_w \quad (11)$$

dengan  $H_A$  adalah jarak titik yang ditinjau dengan muka air.

Menurut SNI 03-1726-2002 nilai percepatan gempa maksimum batuan dasar dan percepatan gempa maksimum muka tanah untuk wilayah gempa Indonesia adalah seperti table berikut ini.

**Tabel 2. Percepatan gempa maksimum batuan dasar dan muka tanah untuk wilayah gempa Indonesia**

Wilayah Gempa	Percepatan Maksimum Batuan Dasar (g)	Percepatan Puncak Muka Tanah (g)			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0.03	0.04	0.05	0.08	Diperlukan Evaluasi Khusus disetiap lokasi
2	0.10	0.12	0.15	0.20	
3	0.15	0.18	0.23	0.30	
4	0.20	0.24	0.28	0.34	
5	0.25	0.28	0.32	0.36	
6	0.30	0.33	0.36	0.38	

(Sumber: SNI 03-1726-2002)

#### c. Nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR)

Nilai cyclic resistance ratio (CRR) adalah nilai tahanan lapisan tanah terhadap tegangan siklik. Nilai CRR dapat diperoleh dengan berbagai cara, antara lain berdasarkan hasil uji lapangan yaitu hasil uji penetrasi standar (SPT). Nilai CRR biasanya dilambangkan dengan simbol (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub>. Youd dan Idriss (2001) dan Cetin et al (2004) memberikan koreksi untuk mendapatkan nilai (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub>. Rumus yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai CRR adalah sebagai berikut:

$$(N_1)_{60} = N_M \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S \quad (12)$$

Dimana:

(N<sub>1</sub>)<sub>60</sub> = nilai SPT terkoreksi terhadap pengaruh efisiensi tenaga 60%;

- $N_M$  = hasil uji SPT di lapangan;
- $C_N$  = faktor koreksi terhadap tegangan vertikal efektif (nilainya  $\leq 1,70$ );
- $C_E$  = faktor koreksi terhadap rasio tenaga palu (ER);
- $C_B$  = faktor koreksi terhadap diameter bor;
- $C_R$  = faktor koreksi untuk panjang batang SPT;
- $C_S$  = koreksi terhadap tabung contoh (samplers) dengan atau tanpa pelapis (liner);
- $\sigma'_{vo}$  = tegangan vertikal efektif (kPa);
- $P_a$  = 100 kPa.

Karena nilai N-SPT meningkat dengan tegangan efektif *overburden*, faktor koreksi tegangan *overburden* harus digunakan (Seed dan Idriss, 1982). Faktor ini biasanya dihitung dengan rumus berikut (Seed and Idriss, 1982):

$$C_N = 2,2 / (1,2 + \frac{\sigma'_{vo}}{p_a}) \quad (13)$$

Dimana nilai  $C_N$  tidak boleh melebihi dari 1,7. Yang lainnya adalah faktor koreksi dari nilai uji penetrasi standar (SPT), yang dapat ditentukan dengan tabel berikut:

**Tabel 3. Faktor koreksi dalam uji SPT**

Faktor	Jenis Alat	Parameter	Koreksi
Tegangan vertikal efektif		$C_N$	$2,2 / (1,2 + (\sigma'_{vo}/P_a))$
Tegangan vertikal efektif		$C_N$	$C_N \leq 1,7$
Rasio tenaga	Palu donat ( <i>Donut hammer</i> )	$C_E$	0,5 s.d 1,0
Rasio tenaga	Palu pengaman ( <i>Safety hammer</i> )	$C_E$	0,7 s.d 1,2
Rasio tenaga	Palu otomatis ( <i>Automatic-trip Donut-type hammer</i> )	$C_E$	0,8 s.d 1,3
Diameter bor	65 s.d 115 mm	$C_B$	1,0
Diameter bor	150 mm	$C_B$	1,05
Diameter bor	200 mm	$C_B$	1,15
Panjang batang	< 3 m	$C_R$	0,75
Panjang batang	3 s.d 4 m	$C_R$	0,8
Panjang batang	4 s.d 6 m	$C_R$	0,85
Panjang batang	6 s.d 10 m	$C_R$	0,95
Panjang batang	10 s.d 30 m	$C_R$	1,0
Pengambilan contoh	tabung standar	$C_S$	1,0
Pengambilan contoh	tabung dengan pelapis ( <i>liner</i> )	$C_S$	1,1 s.d 1,3

(Youd, T.L. & Idriss, I.M., 2001)

Nilai  $(N_1)_{60}$  yang diperoleh kemudian dikoreksi terhadap *Fines Content* (FC). Nilai  $(N_1)_{60}$  yang telah dikoreksi

diberi tambahan huruf cs sehingga menjadi  $(N_1)_{60cs}$ . Tentukan nilai *Fines Content* (FC) kemudian hitung nilai  $(N_1)_{60cs}$  yang dipengaruhi oleh nilai *Fines Content* itu sendiri (Youd dan Idriss, 2001):

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta \cdot (N_1)_{60} \quad (14)$$

Persentase *fines content* (FC) mempengaruhi nilai  $\alpha$  dan  $\beta$ , seperti di bawah ini.

$\alpha = 0, \beta = 1$ , untuk  $FC \leq 5\%$

$\alpha = \exp [1,76 - (190/FC^2)]$  untuk  $5\% < FC < 35\%$

$\beta = [0,99 - (FC^{1,5}/1000)]$  untuk  $5\% < FC < 35\%$

$\alpha = 5, \beta = 1,2$  untuk  $FC \geq 35\%$

Selanjutnya nilai CRR dihitung pada skala gempa ( $M_w$ ) 7,5 dan pasir murni dengan  $(N_1)_{60cs} < 37,5$  (Youd, T. L. dan Idriss, 2001):

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

(15)

Jika  $(N_1)_{60cs} > 37,5$  maka tanah tidak perlu dinilai karena tanah cukup kuat untuk menahan beban gempa yang dapat dinyatakan. nilai  $CRR_{7,5} = 2$ . Nilai kerentanan terhadap likuifaksi adalah bila  $(N_1)_{60cs} < 37,5$ .

#### d. Nilai Faktor Keamanan (FS)

Faktor keamanan untuk likuifaksi dapat dihitung menurut rumus berikut:

$$FS = (CRR / CSR) \quad (16)$$

Nilai MSF untuk intensitas magnetude kurang dari 7,5 dan lebih besar dari 7,5 menurut Seed dan Idriss adalah sebagai berikut:

$$M_w < 7,5, MSF = 10^{2,24} / M_w^{2,56} \quad M_w >$$

$$7,5, MSF = (M_w / 7,5)^{-2,56}$$



Nilai CRR dengan magnetude gempa selain 7,5 dihitung dengan faktor koreksi yang disebut *Magnitude Scale Factor* (MSF). Dalam hal ini, persamaan dapat ditulis sebagaiberikut (Seed, 1983):

$$CRR_{MW} = CRR_{7.5} * MSF * K_{\sigma} * K_{\alpha} \quad (17)$$

Untuk variabel  $K_{\sigma}$  dan  $K_{\alpha}$  dalam perhitungan biasanya hanya pada kasus khusus, sehingga dalam hal ini  $K_{\sigma}$  dan  $K_{\alpha}$  sama dengan 1.

### 3. METODE PELAKSANAAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini dengan cara pengumpulan data melalui pengujian langsung di lapangan dan kemudian dianalisis dengan metode korelasi empiris.

Adapun lokasi penelitian yang dilakukan di Desa Gampong Ladong, Kecamatan Masjid Raya, Aceh Besar, Provinsi NAD.



**Gambar 5. Lokasi penyelidikan tanah, Desa Gampong Ladong, Kecamatan Masjid Raya, Aceh Besar, Prov. NAD.**

Pelaksanaan penelitian ini terdiri dari 3 tahap, yaitu:

#### 1. Persiapan

Ada 2 persiapan yang dilakukan, yaitu: persiapan personil dan peralatan.

#### 2. Pengujian lapangan

Pengujian lapangan dilakukan dalam 2 tahap yaitu:

- Penyelidikan tanah, dengan mengambil data N-SPT.
- Pengambilan sampel tidak terganggu

dan terganggu.

#### 3. Pengujian laboratorium

Sampel tanah yang diperoleh di lapangan diuji di laboratorium

#### 4. Pengolahan data dan analisis

Data yang diperoleh di lapangan dan laboratorium diolah kemudian dianalisis.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penyelidikan tanah data yang diperoleh data stratigrafi tanah disajikan dalam bentuk borelog dan data N-SPT serta data laboratorium.

#### Penyelidikan Tanah

Ada 3 (tiga) titik pengeboran, yaitu: BH-1, BH-2, dan BH-3. Lapisan tanah dari ketiga bore hole ini adalah berjenis pasir. Posisi titik pengeboran ini yang paling dekat ke arah laut adalah titik BH-3. Nilai *Standard Penetration Test* yang diperoleh dari penyelidikan tanah adalah sebagai berikut

Kedalaman (m)	BH-1	BH-2	BH-3
2.00	44	63	13
4.00	57	60	21
6.00	60	63	13
8.00	60	60	6
10.00	62	60	60
12.00	63	60	46
14.00	60	60	46
16.00	62	60	44
18.00	64	60	60
20.00	61	60	60
22.00	62	60	60
24.00	63	60	60
26.00	63	60	60
28.00	60	61	60
30.00	63	62	60
32.00	62	63	60
34.00	62	60	60
36.00	60	61	60
38.00	62	62	60
40.00	63	63	60

Contoh Data Bore Hole 3 (BH3): 10.0 m

M. A. T : 0.00 m<sup>2</sup>

Berat volume tanah jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) : 18.3 kN/m<sup>3</sup>

Berat Volume kering ( $\gamma_d$ ) : 13.3 kN/m<sup>3</sup>

Magnitude ( $M_w$ ): 7.5

SR<sub>amax</sub> : 0.25g

Percepatan gravitasi (g): 9.81 m/s<sup>2</sup>

Berat volume air (γ<sub>w</sub>): 10.0 kN/m<sup>3</sup>

**Perhitungan Tegangan Total:**

$$\sigma = h * \gamma$$

$$= (3.5 * 15.5) + (4.0 * 15.5) + (2.5 * 18.3)$$

$$= 162.0 \text{ kN/m}^2$$

Perhitungan tekanan air pori (u) u = h<sub>w</sub> \* γ<sub>w</sub>

$$= (3.5 * 10.0) + (4.0 * 10.0) + (2.5 * 10.0)$$

$$= 100.0 \text{ kN/m}^2$$

**Perhitungan tegangan efektif:**

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$= 162.0 - 100.0 = 62.0 \text{ kN/m}^2$$

**Perhitungan reduksi tegangan (rd):**

Untuk 9.15 ≤ z ≤ 23 m,  
maka: rd = 1.174 - ( 0.0267 \* z )

$$= 1.174 - ( 0.0267 * 10.0 )$$

$$= 0.907 \text{ m.}$$

**Perhitungan Cyclic Stress ratio (CSR):**

$$\tau_{cyc} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma'_{vo}}{\sigma'_{vo}} rd$$

$$= 0.65 * (0.25/9.81) * (162.0 / 62.0) * 0.907$$

$$= 0.0393$$

**Perhitungan Cyclic Resistance Ratio (CRR):**

Data di titik BH3 lapisan ke 3: NSPT  
dilapangan = 6.0 Faktor Koreksi:

$$C_N = 2.2 / (1.2 + \frac{\sigma'_{vo}}{\rho a})$$

$$= 2.2 / (1.2 + (62.0/98.066)) = 1.2007$$

$$C_E = 0.6$$

$$C_B = 1.0$$

$$C_R = 1.0$$

$$C_S = 1.0$$

Perhitungan (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub>:

$$(N_1)_{60} = N_M \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S$$

$$= 6.0 * 1.2007 * 0.6 * 1.0 * 1.0 * 1.0$$

$$= 4.323$$

Perhitungan (N<sub>1</sub>)<sub>60cs</sub>:

Diambil Fc = 5 % , α = 0 , β =

$$1(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta \cdot (N_1)_{60}$$

$$= 0 + (1 * 4.323) = 4.323$$

Sehingga:

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135}$$

$$+ \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60cs} + 45]^2} + \frac{1}{200}$$

$$= \frac{1}{34 - 4.323} + \frac{4.323}{135} + \frac{50}{[(10 \cdot 4.323) + 45]^2} + \frac{1}{200}$$

$$= 0.0337 + 0.0320 + 0.0064 - 0.0050 = 0.0671$$

**Perhitungan Nilai Faktor Keamanan (FS):**

$$FS = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} = \frac{0.0671}{0.0393} = 1.710$$

Untuk Magnetude (M<sub>w</sub>) = 6.5 SR

$$MSF_{6.5} = 10^{2.24/M^{2.56}} \dots \dots \dots \text{ Untuk MSF}$$

$$<_{w7.5} = 1.442$$

Perhitungan CRR<sub>Mw</sub>:

$$CRR_{Mw} = CRR_{7.5} * MSF_{6.5}$$

$$= 0.0671 * 1.442 = 0.0968$$

Maka FS pada 6.5 SR menjadi:

$$FS = \frac{CRR_{Mw}}{CSR} = \frac{0.0968}{0.0393} = 2.466$$

Untuk Magnetude (M<sub>w</sub>) = 8.5 SR

$$MSF_{8.5} = (M_w/7.5)^{-2.56} \dots \dots \dots \text{ Untuk MSF } > 7.5$$

$$= 0.7258$$

Perhitungan CRR<sub>Mw</sub>:

$$CRR_{Mw} = CRR_{7.5} * MSF_{8.5}$$

$$= 0.0671 * 0.7258 = 0.0487$$

Maka FS pada 8.5 SR menjadi:

$$FS = \frac{CRR_{Mw}}{CSR} = \frac{0.0487}{0.0393} = 1.239$$

Selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik.

**Tabel 5. Nilai FS Pada Bore Hole 1 (BH1)**

No Lapisan	CSR	CRR (M = 7.5)	MSF (M = 8.5)	CRR (M = 8.5)	FS	Kesimpulan
1	0.0165	0.1180	0.726	0.0857	5.191	Tdk Likuifaksi
2	0.0160	1.0947	0.726	0.7946	49.680	Tdk Likuifaksi
3	0.0229	1.3517	0.726	0.9812	42.845	Tdk Likuifaksi
4	0.0216	0.3924	0.726	0.2849	13.174	Tdk Likuifaksi
5	0.0185	0.3004	0.726	0.2181	11.768	Tdk Likuifaksi
6	0.0174	0.2744	0.726	0.1992	11.425	Tdk Likuifaksi
7	0.0166	0.2232	0.726	0.1620	9.780	Tdk Likuifaksi
8	0.0169	0.1854	0.726	0.1345	7.984	Tdk Likuifaksi



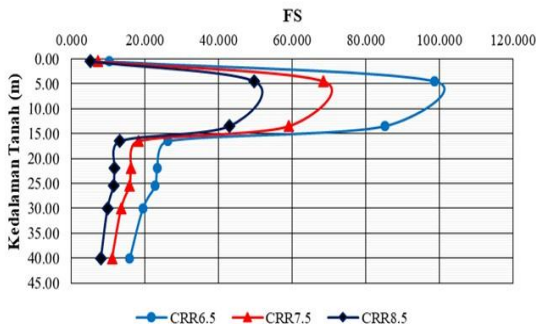
**Tabel 6. Nilai FS Pada Bore Hole 2 (BH2)**

No Lapisan	CSR	CRR (M = 7.5)	MSF (M = 8.5)	CRR (M = 8.5)	FS	Kesimpulan
1	0.0165	0.1182	0.726	0.0858	5.200	Tdk Likuiifikasi
2	0.0164	0.2922	0.726	0.2121	12.951	Tdk Likuiifikasi
3	0.0161	0.5161	0.726	0.2294	14.233	Tdk Likuiifikasi
4	0.0159	0.1824	0.726	0.1324	8.309	Tdk Likuiifikasi
5	0.0159	0.1070	0.726	0.0777	4.896	Tdk Likuiifikasi
6	0.0187	0.3216	0.726	0.2334	12.503	Tdk Likuiifikasi
7	0.0154	0.2212	0.726	0.1605	10.444	Tdk Likuiifikasi
8	0.0156	0.2089	0.726	0.1516	9.739	Tdk Likuiifikasi
9	0.0162	0.1846	0.726	0.1340	8.295	Tdk Likuiifikasi

**Tabel 6. Nilai FS Pada Bore Hole 3 (BH3)**

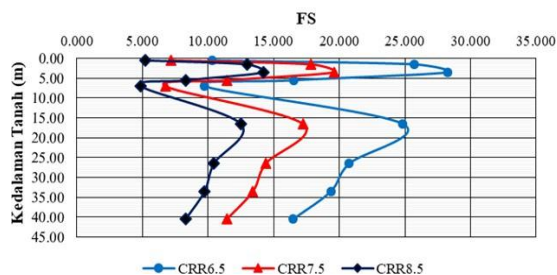
No Lapisan	CSR	CRR (M = 7.5)	MSF (M = 8.5)	CRR (M = 8.5)	FS	Kesimpulan
1	0.0454	0.1339	0.726	0.0972	2.139	Tdk Likuiifikasi
2	0.0440	0.1487	0.726	0.1079	2.452	Tdk Likuiifikasi
3	0.0393	0.0671	0.726	0.0487	1.241	Tdk Likuiifikasi
4	0.0326	0.7960	0.726	0.5778	17.736	Tdk Likuiifikasi
5	0.0283	0.2746	0.726	0.1993	7.050	Tdk Likuiifikasi
6	0.0210	0.2712	0.726	0.1969	9.358	Tdk Likuiifikasi
7	0.0182	0.2080	0.726	0.1510	8.277	Tdk Likuiifikasi
8	0.0185	0.1876	0.726	0.1362	7.346	Tdk Likuiifikasi

**Grafik Hubungan Nilai Faktor Keamanan (FS) Terhadap Kedalaman Tanah Pada Bore Hole 1 (BH1)**



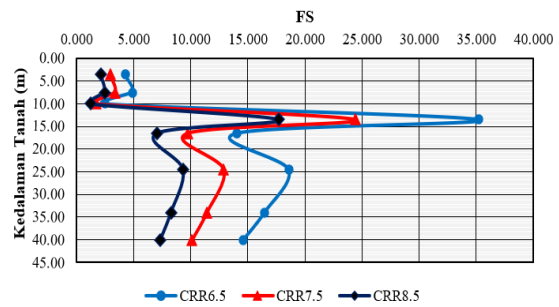
**Gambar 6. Grafik hubungan nilai factor keamanan (FS) terhadap kedalaman tanah pada bore hole 1 (BH1)**

**Grafik Hubungan Nilai Faktor Keamanan (FS) Terhadap Kedalaman Tanah Pada Bore Hole 2**



**Gambar 7. Grafik hubungan nilai faktor keamanan (FS) terhadap kedalaman tanah pada bore hole2 (BH2)**

**Grafik Hubungan Nilai Faktor Keamanan (FS) Terhadap Kedalaman Tanah Pada Bore Hole 3**



**Gambar 8. Grafik hubungan nilai faktor keamanan (FS) terhadap kedalaman tanah pada bore hole 3 (BH3)**

Dari grafik di atas dapat di lihat bahwa cyclic resistance ratio pada magnitude

8.5 SR (CRR<sub>8.5</sub>) yang paling beresiko dibandingkan dengan grafik yang lainnya. Meskipun demikian lapisan tanah pada titik *bore hole 1* (BH1), *bore hole 2* (BH2) maupun *bore hole 3* (BH3) jika terjadi gempa dengan magnitude 8.5 SR masih aman terhadap potensi likuifaksi. Dimana pada *bore hole 1* (BH1) lapisan paling lemah terhadap potensi likuifaksi berada pada lapisan 30.00 –

40.00 m dengan nilai faktor keamanan (FS) = 7.986 > 1. Pada *bore hole 2* (BH2) pada lapisan 5.50 – 7.00 dengan nilai faktor keamanan (FS) = 4.896 > 1, dan pada *bore hole 3* (BH3) pada lapisan 7.50 – 10.00 dengan nilai faktor keamanan (FS) = 1.241 > 1 (masih aman terhadap potensi likuifaksi). Jadi dapat disimpulkan bahwa lapisan tanah tersebut aman terhadap bahaya likuifaksi. Titik BH3 ini merupakan titik pengujian yang paling dekat dengan laut.

## 5. SIMPULAN

Dari informasi serta analisis yang telah dikerjakan, sehingga dibuat beberapa simpulan yaitu antara lain:

1. Secara umum lapisan tanah daerah pengujian ini adalah berjenis tanah berbutir (*granular soil*).
2. Dari ketiga titik pengujian, maka lapisan tanah yang paling mendekati potensi likuifaksi berada pada titik pengujian *bore hole* 3 (BH3). Berada padakedalaman 7,50 – 10,00 meter, dengan  $FS = 1.241 >$  (masih aman terhadap potensi likuifaksi).

## 6. DAFTAR PUSTAKA

Anry Gratio Deo Warouw Fabian J. Manoppo, Steeva G. Rondonuwu, 2019., “Analisis Potensi Likuifaksi Dengan Menggunakan Nilai SPT (Studi Kasus: Jembatan Ir. Soekarno Manado)”. Universitas Sam Ratulangi Fakultas Teknik Jurusan Sipil Manado.

Huang Y. dan Yu M., 2017. “*Hazard Analysis of Seismic Soil Liquefaction*”. Shanghai, China.

Idriss M. Izzat dan R.W. Boulanger, 2008., “*Soil Liquefaction During Earthquakes*”. Oakland, California, USA.

Jefferies M. dan Been K. 2016., “*Soil Liquefaction A Critical State Approach*”. Houston, USA.

Lade V. Poul dan Yamamuro A. Jerry, 1999. “*Physics and Mechanics of Soil Liquefaction*”. A. A. Balkema, Rotterdam, Netherlands.

Seed Bolton H. dan Idriss M. Izzat, 1971. “*Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential*”. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division., ASCE, 97(9), 1249-1273.