

# ANALISA POTENSI LIKUIFAKSI PADA JEMBATAN INTERCHANGE PEMBANGUNAN JALAN TOL RUAS TEBING TINGGI – INDERAPURA

Nur Fadhilla Ichwani  
nuradhila.ichwani03@gmail.com

## ABSTRAK

Likuifaksi adalah fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat tegangan air pori yang timbul akibat beban siklis (getaran). Getaran yang dimaksud dapat berupa getaran yang berasal dari gempa bumi maupun yang berasal dari pembebanan cepat lainnya. Likuifaksi biasanya terjadi pada tanah berbutir longgar yang jenuh air, dimana seluruh rongga-rongga dari tanah tersebut dipenuhi oleh air. Lapisan tanah pada lokasi pembangunan Jembatan Interchange berpotensi likuifaksi dikarenakan memiliki gradasi butiran yang buruk, oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan analisa likuifaksi secara analitis.

Perhitungan analisa likuifaksi dilakukan dengan menghitung nilai Cyclic Stress Ratio (CSR), Cyclic Resistance Stress (CRR) pada tiap lapisan yang kemudian dimasukkan ke dalam grafik Seed et al untuk mengetahui lapisan- lapisan tersebut mengalami likuifaksi atau tidak. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka diketahui kedalaman 0,00 – 3,50 m pada lokasi BH-9A dan kedalaman 0,00 – 3,00 m pada lokasi BH-10A tidak berpotensi likuifaksi, sedangkan pada kedalaman 3,50 – 9,50 m di lokasi BH-9A dan kedalaman 3,00 – 10,50 m di lokasi BH-10A berpotensi likuifaksi.

*Liquefaction is the phenomenon of loss of soil layer strength due to pore water pressure arising from cyclic loading (vibration). The vibrations referred to can be in the form of vibrations originating from earthquakes or those originating from other fast loading. Liquefaction usually occurs in loose grained soils that are saturated with water, where all the voids in the soil are filled with water. The soil layer at the Interchange Bridge construction site has the potential for liquefaction because it has poor grain gradation, therefore it is necessary to calculate the liquefaction analysis analytically.*

*Liquefaction analysis calculations are carried out by calculating the Cyclic Stress Ratio (CSR), Cyclic Resistance Stress (CRR) values for each layer which are then entered into the Seed et al graph to determine whether the layers are experiencing liquefaction or not.*

*Based on the results of the research conducted, it is known that the depth of 0.00 - 3.50 m at location BH-9A and a depth of 0.00 - 3.00 m at location BH-10A have no potential for liquefaction, while at depths of 3.50 - 9, 50 m at location BH-9A and a depth of 3.00 – 10.50 m at location BH-10A has the potential for liquefaction.*

## KATA KUNCI

**Likuifaksi, Gempa, CSR, CRR**

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Indonesia termasuk daerah yang memiliki aktifitas gempa yang tinggi.

Hal ini disebabkan Indonesia terletak di antara dua lempeng benua:

---

*Penulis adalah mahasiswa Program Studi TPJJ Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan*

Lempeng Eurasia (Lempeng Sunda) dan Lempeng Australia (Paparan sahur), dan juga terletak diantara dua lempeng samudera: Lempeng Laut Filipina dan Lempeng Pasifik. Salah satu jenis gempa yang sering memicu terjadinya likuifaksi adalah gempa tektonik.

Likuifaksi adalah fenomena yang terjadi ketika tanah yang jenuh atau agak jenuh kehilangan kekuatan dan kekakuan akibat adanya tegangan, misalnya getaran gempa bumi atau perubahan ketegangan lain secara mendadak, sehingga tanah yang padat berubah wujud menjadi cairan atau air berat.

Perhitungan likuifaksi pada umumnya dilakukan pada tanah yang memiliki gradasi buruk seperti SP (Sandy Poor) atau yang disebut dengan pasir lepas, karena pada tanah seperti ini lebih banyak berpotensi menyimpan air dibandingkan dengan tanah yang bergradasi baik.

Lapisan tanah pada lokasi pembangunan Jembatan Interchange berpotensi liquifaksi dikarenakan memiliki gradasi butiran yang buruk pada kedalaman 4,5 m – 10,5 m, oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan analisa likuifaksi secara analitis.

### **Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah yang diambil oleh penulis pada penelitian ini yaitu:

1. Berapakah nilai Cyclic Stress Ratio (CSR) pada lapisan tanah di lokasi Pembangunan Jembatan Interchange Jalan Tol Tebing Tinggi – Inderapura?
2. Berapakah nilai Cyclic Resistance Ratio (CRR) pada lapisan tanah di lokasi Pembangunan Jembatan Interchange Jalan Tol Tebing Tinggi – Inderapura?
3. Bagaimana potensi likuifaksi dilapisan tanah di lokasi Pembangunan Jembatan Interchange Jalan Tol Tebing Tinggi – Inderapura?

### **Batasan Masalah**

Sesuai dengan permasalahan di atas, maka batasan masalah yang diambil oleh penulis yaitu:

1. Area yang diteliti adalah area jembatan Interchange pada daerah pilar 1 (BH 9A dan BH 10A).
2. Perhitungan nilai CSR menggunakan formula persamaan Seed dan Idriss (1971).
3. Perhitungan nilai CRR menggunakan data SPT.
4. Menghubungkan nilai CSR dan CRR pada grafik Seed et al.
5. Mengetahui nilai faktor keamanan.

### **Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi terjadinya likuifaksi pada Jembatan Interchange Jalan Tol Tebing Tinggi – Inderapura.

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **Parameter-parameter yang Mempengaruhi Potensi Likuifaksi**

Adapun parameter-parameter yang mempengaruhi potensi likuifaksi adalah sebagai berikut:

#### **1. Tegangan Vertikal Total ( $\sigma_v$ ) dan Tegangan Vertikal Efektif ( $\sigma'_v$ )**

##### 1.1. Vertikal Total ( $\sigma_v$ )

$$\sigma_v = \Sigma (\gamma.H) \quad (1)$$

dimana:

$\sigma_v$  = tegangan vertikal total (kN/m<sup>2</sup>)  $\gamma$  = berat isi lapisan tanah (kN/m<sup>3</sup>) H = tebal lapisan tanah (m)

##### 2.2. Vertikal Efektif ( $\sigma'_v$ )

$$\sigma'_v = \sigma_v - \mu(2)$$

dimana:

$\sigma'_v$  = tegangan efektif (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma_v$  = tegangan total (berat permukaan tanah) (kN/m<sup>2</sup>)  $\mu$  = tekanan air

pori (kN/m<sup>2</sup>) =  $\gamma_w \cdot H$

$\gamma_w$  = berat isi air (kN/m<sup>3</sup>) H = tebal lapisan (m)

## 2. Shear Modulus Maximum (G<sub>max</sub>)

### 2.1. Modulus Geser Tanah Lempung

$$G_{max} = \frac{3230 (2,97 - e)^2 (OCR)^K \sigma_0^{-0,5}}{1 + e} \quad (3)$$

Dimana:

$\sigma_0$  = tegangan efektif octahedral 1/3 ( $\sigma_v + 2K_0\sigma_v$ )

$K_0 = 0,40 + 0,007 PI$ , untuk PI antara 0% sd 40%

$K_0 = 0,68 + 0,001 (PI - 40)$ , untuk PI antara 40% s/d 80% OCR = Overconsolidated Ratio

Tabel 1. Hubungan antara PI dengan nilai K pada rumus *Shear Modulus Maximum*

Plastisitas Indeks	K
0	0
20	0,18
40	0,30
60	0,41
80	0,48
>100	0,5

### 2.2. Modulus Geser Tanah Pasir

Rumusan empiris menghitung modulus geser maksimum pada pasir adalah sebagai berikut:

- Pasir bergradasi bulat

$$G_{max} = \frac{6908 (2,17 - e)^2 - \sigma_0}{1 + e}, \text{ kN/m}^2 \quad (4)$$

- Pasir bersudut

$$G_{max} = \frac{3230 (2,97 - e)^2 - \sigma_0}{1 + e}, \text{ kN/m}^2 \quad (5)$$

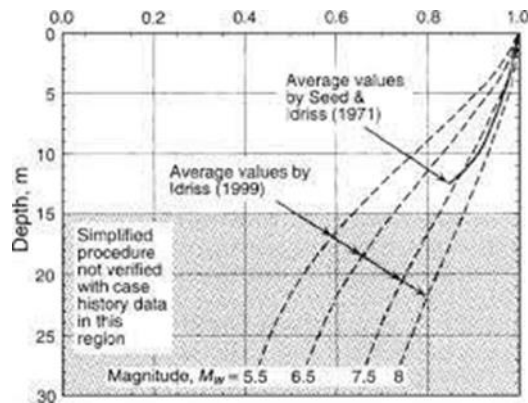
Untuk menghitung nilai G<sub>max</sub>, menggunakan rumus yang dikemukakan oleh Seed et al, yaitu:

$$G_{max} = 6.220 N \quad (6)$$

Dimana: N = nilai N-SPT

### 3. Faktor Reduksi (rd)

Faktor reduksi bergantung pada magnitude gempa (Idriss, 1999). Untuk kebutuhan praktis di lapangan, nilai rd biasanya diambil dari kurva average values by Seed and Idriss (1971) seperti gambar di bawah ini.



Gambar 1. Faktor reduksi (rd) terhadap kedalaman (Seed and Idriss, 1971)

### 4. Nilai SPT (Standard Penetration Test)

Nilai SPT diperoleh dari hasil uji SPT di lapangan. Berdasarkan nilai SPT, bahaya potensi likuifaksi dapat dituliskan sebagai berikut:

- N-SPT 0 – 20 = Potensi likuifaksi Besar
- N-SPT 20 – 30 = Potensi Likuifkasi Sedang
- N-SPT > 30 = Potensi likuifaksi tidak berarti

### 5. Relatif Density (Dr)

Bila nilai Dr lebih besar dari 70% maka lapisan tanah tersebut tidak terlikuifaksi. Nilai Dr dapat diperoleh dari nilai N-SPT yang dapat dihitung berdasarkan rumus:

$$D_r = \sqrt{\frac{N}{1,70 (1,42 \sigma'_v + 10)}}$$

Dimana:

Dr = relatif density

N = nilai N-SPT

$\sigma'_v$  = tegangan vertikal efektif

## 6. Percepatan Gempa ( $a_{max}$ )

### 6.1. Percepatan Gempa di Batuan Dasar

Dalam menghitung analisis potensi likuifaksi dapat menggunakan fungsi atenuase Joyner & Boore dan fungsi atenuase Crouse.

1) Fungsi Atenuase Joyner & Boore (1988)

$$a = 10 [0.71 + 0.23(M_w - 6) - \log(r) - 0.0027 r] \quad (8)$$

dimana:

$a$  = percepatan yang dinyatakan dalam g

$M_w$  = momen magnitude (diasumsikan  $M_w = M$ )

$r_0$  = jarak terdekat dari lokasi ke proyeksi vertikal dari gempa akibat aktivitas pada permukaan tanah (epicentre).

$$r^2 = r_0 + 8$$

2) Fungsi Atenuase Crouse (1991)

$$\ln(PGA) = 6.36 + 1.76 - 2.731 \ln(R + 1.58e^{(0.608M)} + 0.00916h) \quad (9)$$

(9)

Dimana:

PGA = Peak Ground Acceleration, gal ( $1g = 1000$  gal)

R = jarak hypocentre (Km)

$$R^2 = r_0 + h^2$$

M = momen magnitude gempa = magnitude gempa

h = kedalaman fokus (Km)

### 6.2. Percepatan Gempa di Permukaan Tanah

Berbeda dengan perhitungan percepatan gempa di batuan dasar yang menganalisa kejadian gempa, perhitungan percepatan gempa di permukaan tanah pada suatu lokasi harus dilakukan dengan menganalisa lapisan tanah pada lokasi tersebut. Perhitungan percepatan gempa di permukaan tanah dapat menggunakan Program Edushake.

## 7. Cyclic Stress Ratio (CSR)

$$\text{Cyclic Stress Ratio (CSR)} \\ CSR = \frac{\tau_{cyc}}{\sigma'_v} = 0,65 \frac{a_{max} \sigma_v}{g \sigma'_v} rd$$

Dimana:

$a_{max}$  = percepatan maksimum dipermukaan tanah,

$g$  = percepatan gravitasi bumi

$\sigma'_v$  = tegangan vertikal efektif

$\sigma_v$  = tegangan vertikal total

$rd$  = faktor reduksi terhadap tegangan

## 8. Cyclic Resistant Ratio (CRR)

$$(N)60 = 1.67 N C_b E_m C_r \quad (11)$$

Dimana:

$(N)60$  = nilai N-SPT yang dikoreksi terhadap prosedur pengujian lapangan.

$E_m$  = efisiensi hammer,

$E_m$  = 0,60 untuk hammer yang baik dan 0,45 untuk doughnut hammer.

$C_b$  = korelasi diameter borelog

$C_b = 1$  untuk dia. BH 65 mm s/d 115 mm.

$C_b = 1,05$  untuk dia. BH 150 mm.

$C_b = 1,15$  untuk dia. BH 200 mm.

$C_r$  = panjang rod

$C_r = 0,75$  untuk panjang rod sampai 4 m.

$C_r = 0,85$  untuk panjang rod 4 s/d 6 m.

$C_r = 0,95$  untuk panjang rod 6 s/d 10 m.

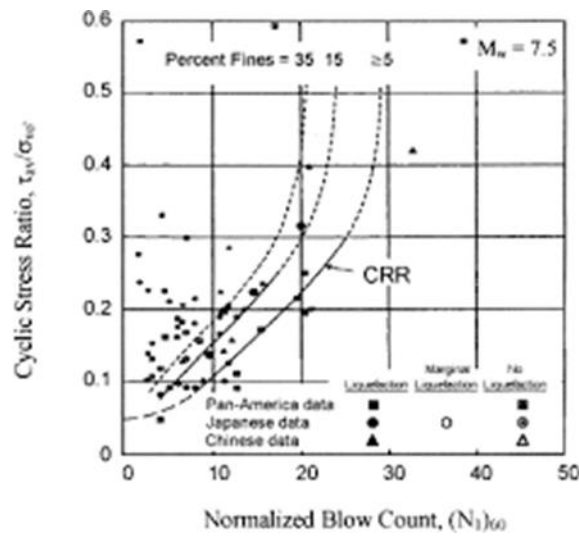
$C_r = 1,0$  untuk panjang rod lebih dari 10 m.

$N$  = hasil test SPT

Selanjutnya nilai  $(N)60$ -SPT dikoreksi untuk Overburden Pressure menjadi  $(N1)60$  atau CRR:  $(N1)60 = N60 C_n = (100 / \sigma'_v) 0,50 N60$

**9. Analisa Likuifaksi**

Untuk mengetahui suatu lapisan berpotensi mengalami likuifaksi dengan cara menghubungkan hasil perhitungan CSR dan CRR ke dalam grafik Seed et al. Apabila titik hubungan antara CSR dan CRR pada suatu lapisan tanah berada di bawah kurva, maka lapisan tersebut aman terhadap likuifkasi. Namun sebaliknya, apabila titik tersebut berada di atas kurva, maka lapisan tanah tersebut akan terlikuifaksi.



Gambar 2. Grafik Hubungan antara CSR dengan  $(N_1)_{60}$  untuk magnitudo gempa, M 7,5 (Seed et al)

Grafik Seed et al. ini tersedia dalam magnitudo 7,5 SR. oleh karena itu, jika magnitudo gempa yang mengakibatkan PGA terbesar tidak bernilai 7,5 SR maka untuk menggunakan grafik di atas nilai CSR harus dikalikan dengan nilai koreksi. Nilai koreksi dapat dihitung dengan menggunakan faktor koreksi (Tabel 2.)

Tabel 2. Tabel Faktor Koreksi magnitudo untuk pendekatan tegangan siklis (Seed, 1975)

Magnitudo Gempa	$CSR_M/CSR_{M=7,5}$
5,25	1,5
6	1,32
6,75	1,12
7,5	1,00
8,5	0,89

Dan faktor keamanan yang digunakan tidak boleh kurang dari satu, karena jika kurang dari satu maka tanah akan mengalami likuifkasi. Berikut sedikit diilustrasikan oleh sebuah persamaan:



$$FS = \frac{CRR \text{ existing}}{CRR \text{ syarat}}$$

Dimana, jika  $FS = \frac{CRR \text{ existing}}{CRR \text{ syarat}} < 1$  maka terjadi likuifaksi

jika  $FS = \frac{CRR \text{ existing}}{CRR \text{ syarat}} = 1$  kondisi kritis

jika  $FS = \frac{CRR \text{ existing}}{CRR \text{ syarat}} > 1$  tidak terjadi likufaksi

## METODE PENELITIAN

### Cara Analisis

Dalam menganalisa potensi likuifaksi pada lokasi Jembatan Interchange pada pembangunan jalan tol Tebing Tinggi – Kisaran (Tahap I) Ruas Tebing Tinggi – Inderapura, penulis melakukan dengan beberapa tahapan yaitu:

#### 1. Menganalisis jenis tanah

Untuk menganalisis jenis tanah, penulis menggunakan data pengeboran dari data investigasi tanah.

#### 2. Menentukan percepatan gempa di permukaan tanah

Untuk menentukan percepatan gempa di permukaan tanah, penulis mengarah ke SNI – 1726– 2002 tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung berdasarkan data lapisan tanah dengan mempertimbangkan jenis tanah dan wilayah gempa seperti tertera pada tabel di bawah ini

**Tabel 3 Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia**

Wilayah Gempa	Percepatan puncak batuan dasar ('g')	Percepatan puncak muka tanah $A_0$ ('g')			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	
2	0,10	0,12	0,15	0,20	Diperlukan
3	0,15	0,18	0,23	0,30	evaluasi
4	0,20	0,24	0,28	0,34	khusus di
5	0,25	0,28	0,32	0,36	setiap
6	0,30	0,33	0,36	0,38	lokasi

#### 3. Menghitung Nilai CSR

Menghitung nilai Cyclic Stress Ratio (CSR) menggunakan formula persamaan Seed dan Idriss (1971)

#### 4. Menghitung Nilai CRR

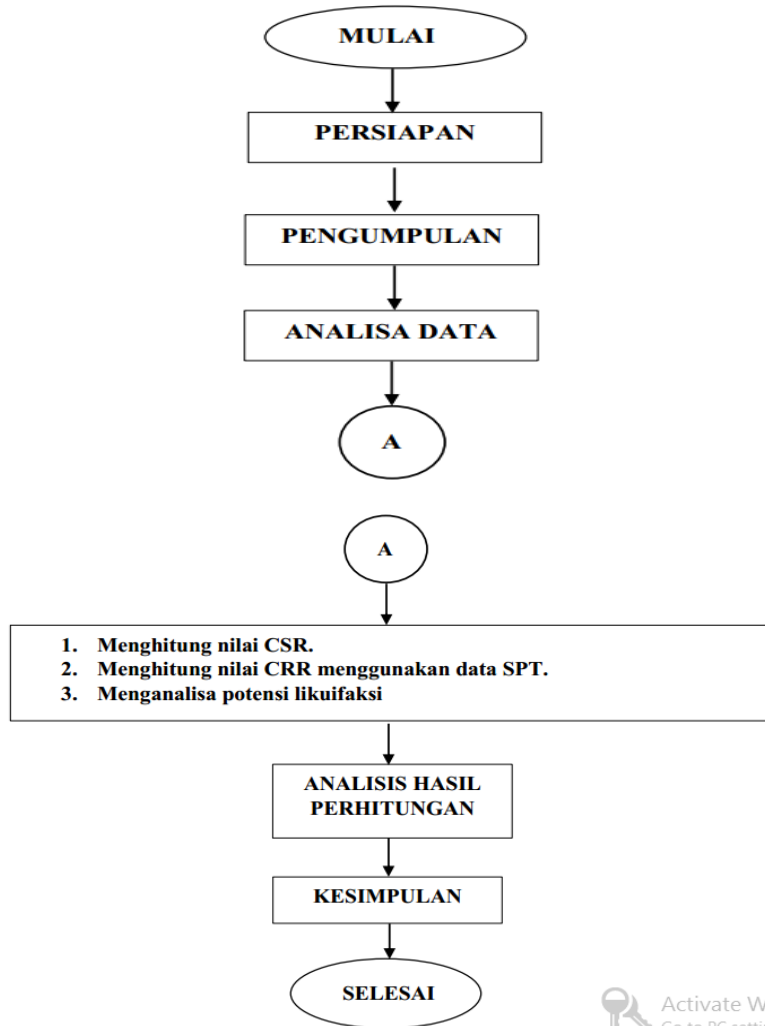
Menghitung nilai Cyclic Resistant Ratio (CRR) dari angka NSPT.

#### 5. Mengevaluasi potensi likuifaksi

Dengan menghubungkan nilai CSR dan CRR pada grafik Seed et al. (Gambar 2.5) maka akan diketahui lapisan tanah mana yang akan terlikuifaksi.

### Skema Alir Penelitian

Adapun skema alir penelitian pada penulisan ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.3 Bagan Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Pemeriksaan Jenis Tanah

Tabel 3. Hasil Pengujian Laboratorium pada Lokasi BH-9A

Lapisan	Tebal Lapisan (m)	Tingkat Plastisitas	NSPT
I	0,50	LL = 46,71%	3
II	0,50	LL = 33,74%	1
III	0,50	LL = 30,14%	1

Tabel 4. Hasil Pengujian Laboratorium pada Lokasi BH-10A

Lapisan	Tebal Lapisan (m)	Tingkat Plastisitas	NSPT
I	0,50	LL = 46,69%	2
II	0,50	LL = 27,51%	1
III	0,50	LL = 26,76%	9

### 2. Cyclic Stress Ratio (CSR)

Tabel 5. Perhitungan Nilai CSR pada Lokasi BH-9A

Kedalaman (m)	Lapisan	$a_{max}$	$\sigma_v / \sigma'_v$	rd	CSR	Faktor Koreksi	CSR $m = 7,5$
3,50 – 5,50	II	0,30	3,248	1	0,633	0,945	0,670
5,50 – 9,50	III	0,30	2,346	0,95	0,434	0,945	0,460

Tabel 6. Perhitungan Nilai CSR pada Lokasi BH-10A

Kedalaman (m)	Lapisan	$a_{max}$	$\sigma_v / \sigma'_v$	rd	CSR	Faktor Koreksi	CSR $m = 7,5$
3,00 – 6,50	II	0,30	3,212	1	0,626	0,945	0,662
6,50 – 10,50	III	0,30	2,251	0,9	0,395	0,945	0,418

### 3. Cyclic Resistants Ratio (CRR)

Tabel 7. Perhitungan Nilai CRR pada Lokasi BH-9A

Kedalaman (m)	Lapisan	$(N)_{60}$	$C_n$	$(N_1)_{60}$
3,50 – 5,50	II	0,563	1,961	1,104
5,50 – 9,50	III	0,563	1,244	0,700

**Tabel 8. Perhitungan Nilai CRR pada Lokasi BH-10A**

Kedalaman (m)	Lapisan	(N) <sub>60</sub>	C <sub>n</sub>	(N <sub>i</sub> ) <sub>60</sub>
3,00 – 6,50	II	0,563	1,916	1,079
6,50 – 10,50	III	5,072	1,115	5,657

**4. Analisa Likuifaksi di Setiap Lapisan Tanah****Tabel 9. Hasil Analisa Likuifaksi di Setiap Lapisan Tanah**

Lapisan	Kedalaman (m)	Analisa Likuifaksi		
		BH – 9A	Kedalaman (m)	BH – 10A
II	3,50 – 5,50	L	3,00 – 6,50	L
III	5,50 – 9,50	L	6,50 – 10,50	L

**Tabel 10. Nilai Faktor Keamanan (FS) di Setiap Lapisan Tanah**

Lapisan	Kedalaman (m)	Faktor Keamanan (FS)		
		BH – 9A	Kedalaman (m)	BH – 10A
II	3,50 – 5,50	II	3,50 – 5,50	II
III	5,50 – 9,50	III	5,50 – 9,50	III

**SIMPULAN**

Berdasarkan hasil analisa tanah pada lokasi Pembangunan Jembatan Interchange pada Pembangunan Jalan Tol Tebing Tinggi – Kisaran (Tahap I) Ruas Tebing Tinggi – Inderapura, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Nilai CSR di lokasi BH-9A pada kedalaman 3,50-5,50 m sebesar 0,670, dan kedalaman 5,50-9,50 m sebesar 0,460. Dan untuk nilai CSR di lokasi BH-10A pada kedalaman 3,00-6,50 m sebesar 0,662, dan kedalaman 6,50-10,50 m sebesar 0,418. Nilai CRR di lokasi BH-9A pada kedalaman 3,50-5,50 m sebesar 1,104, dan kedalaman 5,50-9,50 m sebesar 0,700. Dan untuk nilai CRR di lokasi BH-10A pada kedalaman 3,00-6,50 m sebesar 1,079, dan kedalaman 6,50- 10,50 m sebesar 5,657.

Dari hasil analisis, lapisan tanah yang berpotensi terjadi likuifaksi adalah lapisan tanah pada:

- a. Lapisan II dan III pada Lokasi BH-9A (kedalaman 3,50 – 9,50 m)
- b. Lapisan II dan III pada Lokasi BH-10A (kedalaman 3,00 – 10,50 m)

Lapisan I pada Lokasi BH-9A (kedalaman 0,00 – 3,50 m) dan Lokasi BH-10A (kedalaman 0,00– 3,00 m) merupakan tanah lempung maka tidak berpotensi likuifaksi.

Nilai faktor keamanan (FS) di lokasi BH-9A pada kedalaman 3,50-5,50 m sebesar 0,020, dan kedalaman 5,50-9,50 m sebesar 0,015. Dan untuk nilai faktor keamanan (FS) di lokasi BH-10A pada kedalaman 3,00-6,50 m sebesar 0,023, dan kedalaman 6,50-10,50 m sebesar 0,013.

Dalam pelaksanaan Pembangunan Jalan Tol Tebing Tinggi – Kisaran (Tahap I) Ruas Tebing Tinggi – Inderapura perlu diadakan pengkajian khusus terhadap potensi likuifaksi, serta juga perlu diadakan perbaikan tanah berupa pemadatan dan pengeluaran air yang berada di dalam lapisan tanah pada lapisan yang berpotensi likuifaksi. Diharapkan perbaikan tersebut dapat menambah tingkat kepadatan lapisan tanah sehingga mengakibatkan pertambahan pada CRR pada lapisan tanah tersebut, sehingga tanah memiliki nilai ketahanan yang lebih tinggi terhadap kemungkinan terjadinya likuifaksi.

## **RUJUKAN**

- Nakazawa, Kazuto. 2015, Cetakan Kedelapan. Mekanika Tanah & Teknik Pondasi. Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- Mabrur, Muhammad. 2009. Analisa Potensi Likuifaksi Pada Area Apron Bandar Udara Medan Baru.
- Skripsi Teknik Sipil : Universitas Sumatera Utara.
- Ikhsan, Rifa. 2011. Analisis Potensi Likuifaksi Dari Data CPT Dan SPT Dengan Studi Kasus PLTU Ende Nusa Tenggara Timur. Skripsi Teknik Sipil : Universitas Indonesia.
- Tini (a), Tohari, Adrin (b), Iryanti, Mimin (c). 2017. Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Menggunakan Metode SPT (Standar Penetration Test) dan CPT (Cone Penetration Test) di Kabupaten Bantul, Yogyakarta. Jurnal Fisika.
- Maghfira, Reyhan. 2016. Analisis Potensi Likuifaksi Lapisan Pasir Pada Pembangunan Flyover Simpang Surabaya Banda Aceh. Tugas Akhir : Universitas Syiah Kuala.

- Pasaribu, Hadianti Muhdinar. 2019. Bahan Kuliah, Rekayasa Gempa: Intensitas Dan Magnitude Gempa. Medan : Politeknik Negeri Medan.
- Sinaga, Bolmen Frans J. dan Iskandar, Rudi. Tanpa Tahun. Analisis Potensi Likuifaksi Pada Proyek Wire House Belawan. Jurnal Teknik Sipil.
- Buana, Taufiq Wira et al. 2019. Atlas Zona Kerentanan Likuefaksi Indonesia. Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- SNI – 1726 – 2002 tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung.