



Analisis Potensi Likuifaksi Pada Ruas Jalan Tol Manado-Bitung (Sta. 9+745)

Vladimir Polii^{#a}, Hendra Riogilang^{#b}, Lanny D. K. Manaroinson^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^avladimirpolii022@gmail.com, ^briogilanghendra@gmail.com, ^clannymanaroinson@gmail.com

Abstrak

Likuifaksi adalah salah satu fenomena yang terjadi ketika daya dukung tanah yang menopang bangunan seketika hilang secara tiba-tiba akibat getaran yang muncul ketika gempa bumi. Peristiwa Likuifaksi akan menyebabkan kerugian yang sangat besar pada pekerjaan-pekerjaan infrastruktur, sehingga diperlukan analisa lebih lanjut untuk mengetahui bahaya likuifaksi dalam pekerjaan konstruksi dalam hal ini Jalan Tol Manado-Bitung menjadi lokasi penelitian potensi Likuifaksi dengan menggunakan nilai uji Standart Penetrasi (SPT). Analisis potensi likuifaksi bertujuan untuk mengetahui nilai faktor keamanan terhadap Likuifaksi di tiap lapisan tanah di Ruas Jalan Tol Manado Bitung khususnya STA 9+745, dengan membandingkan nilai Cyclic Resistance Ratio (CRR) yang adalah nilai tahanan tanah untuk menahan Likuifaksi dengan nilai Cyclic Stress Ratio (CSR) yang merupakan ratio tegangan siklik yang terjadi pada tanah akibat gempa dan dapat menyebabkan Likuifaksi terjadi. Nilai faktor keamanan (FS) akan menjelaskan potensi terjadinya likuifaksi pada tiap lapisan tanah, jika nilai factor keamanan (FS) kurang dari satu maka tanah berpotensi terjadi likuifaksi, jika nilai faktor keamanan (FS) lebih besar dari satu maka tanah aman dari potensi likuifaksi. Analisa potensi Likuifaksi dilakukan dengan kontrol faktor keamanan (FS) terhadap gempa referensi yaitu dengan Moment Magnitude (M_w) = 5, 5.5, 6, 6.5, 7, dan 7.5 Skala Richter.

Kata kunci: likuifaksi, jalan tol Manado-Bitung, Standart Penetration Test (SPT)

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Wilayah Indonesia memiliki aktifitas gempa yang sangat tinggi dan sangat perlu diperhitungkan dalam perencanaan bangunan teknik sipil seperti bangunan gedung, jembatan, dan sebagainya. Pada perencanaan suatu bangunan, tanah berperan sebagai lapisan pendukung utama yang akan memikul beban yang diteruskan bangunan, sehingga tanah seharusnya direncanakan dengan memperhitungkan pengaruh yang akan muncul ketika terjadi bencana alam, salah satunya adalah Likuifaksi

Saat ini Pemerintah mendorong pembangunan infrastruktur secara besar-besaran, setidaknya ada puluhan mega proyek yang telah diselesaikan dan yang terbanyak diantaranya adalah Jalan Tol. Sulawesi Utara sendiri yang termasuk dalam wilayah rawan akan Gempa Bumi baru saja menyelesaikan proyek pembangunan Jalan Tol yang pertama yaitu Jalan Tol Manado-Bitung. Hal ini melatarbelakangi penulisan untuk menganalisis potensi likuifaksi di Ruas Jalan Tol Manado-Bitung berdasarkan hasil Uji Standart Penetration Test (SPT).

1.2. Rumusan Masalah

Dengan kondisi tanah pada jalan tol Manado Bitung yang bersifat rawa maka diperlukan kajian untuk menganalisa potensi bahaya likuifaksi pada jalan tol Manado Bitung

1.3. Batasan Masalah

- Lokasi penelitian ini dilakukan di Ruas Jalan Tol Manado-Bitung (STA 9+745)
- Metode yang digunakan untuk menghitung potensi Likuifaksi menggunakan data Standart Penetration Test (SPT) dari tenaga ahli.
- Metode evaluasi potensi likuefaksi digunakan metode dari Idriss & Boulanger (2008), dan tidak meninjau Lateral Displacement Index & Settlement.
- Analisis potensi likuefaksi digunakan faktor skala magnitudo pada magnitudo gempa 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, dan 7.5 SR.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam perencanaan pekerjaan bangunan sipil dikemudian hari khususnya dalam mencegah terjadinya bencana likuifaksi.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini penulis mengambil studi kasus di jalan tol Manado Bitung ($1^{\circ}26'23.773''\text{LU}$ & $124^{\circ}57'9.752''\text{BT}$), yang mana jalan tersebut berada melewati daerah berawa di Airmadidi. Dalam kasus analisis potensi likuifaksi, penulis menggunakan pendekatan empirik dari data uji standart penetrasi (SPT).



Gambar 1. Lokasi Penelitian. (Google Earth, 2023)

2.2. Bagan Alir Penelitian

Untuk mengetahui besar potensi likuifaksi yang berada di jalan tol Manado-Bitung diperlukan tahapan-tahapan pada Gambar 2.

3. Kajian Literatur

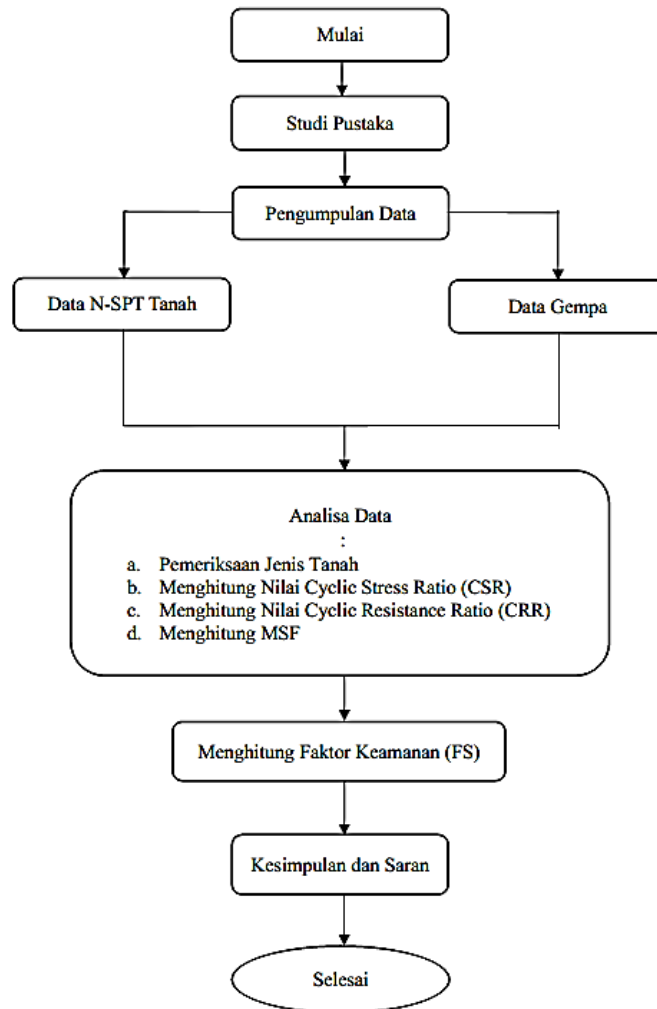
3.1. Likuifaksi

Likuifaksi adalah hilangnya kekuatan tanah akibat kenaikan tegangan air pori dan turunnya tekanan efektif dari lapisan tanah yang timbul akibat beban siklik. Likuifaksi hanya terjadi pada tanah cohesionless jenuh air, sehingga kedalaman muka air juga berpengaruh pada potensi

terjadinya likuifaksi.

3.2. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah peristiwa alam berupa getaran di muka bumi akibat pelepasan energy dari dalam bumi secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Gempa bumi dapat menyebabkan suatu kegagalan struktur pada bangunan sipil jika tidak melakukan pencegahan.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3.3. Tanah

Partikel tanah memiliki ukuran yang sangat beragam, dengan ukuran antara lebih besar dari 100 mm sampai kurang dari 0.001 mm. Keberagaman ukuran inilah yang menentukan jenis dan sifat dari setiap tanah yang ada.

3.4. Tegangan Tanah

Tegangan efektif tanah adalah tegangan yang bekerja pada butiran tanah setelah mengurangi pengaruh tekanan air pori di dalam tanah, tegangan efektif berlaku pada tanah yang terendam air sempurna. Semakin besar tegangan efektif semakin padat tanah tersebut. Pada suatu lapisan tanah pasir yang jenuh air, pengaruh dari getaran gempa atau beban siklik, akan mengalami perubahan sifat tanah. Dimana dari sifat solid ke sifat liquid (cair) yang mengakibatkan berkurangnya tegangan efektif tanah dan membuat tanah tersebut kehilangan daya dukungnya. Dijelaskan lewat rumus :

$$S = c' + \sigma'v \tan \varphi' \tag{1}$$

Dimana :

- S = Kuat geser tanah (kN/m²)
- c' = Kohesi tanah efektif (kN/m²)
- σ'v = Tegangan tanah efektif vertikal (kN/m²)
- φ' = Sudut geser dalam tanah efektif (°)

	1,7 mm	0,38	0,075								
Unified Class System	k										
	a										
s	Sedang		Halus	Butiran halus (lanau dan lempung)							
r											
	Pasir										
ASTM	2,0 mm	0,420	0,075	0,005	0,001						
	pasir sedang		Pasir halus	lanau	lempung	lempung koloidal					
	2,0 mm	0,6	0,2	0,06	0,006	0,002	0,0006				
	0,0002 mm										
MIT nomen- clature	kasar	sedang	halus	ksr	sedang	halus	kasar	sedang	Halus		
	Pasir			lanau			Lempung				
	2,0 mm	1,0	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,006	0,002	0,0006	
	0,0002										
Inter- national nomen- clature	sangat kasar	kasar	Sdg	halus	Kasar	halus	ksr	halus	kasar	hls	sangat hls
	pasir			M _s		lanau		Lempung			

Gambar 3. Klasifikasi Butiran Tanah Menurut USCS (Hardiyatmo, 2006)

3.5. Analisis Potensi Likuifaksi

Pada dasarnya untuk menganalisis potensi likuifaksi terdapat dua parameter utama yaitu CSR (Cyclic Stress Ratio), yang merupakan ratio dari tegangan tanah akibat beban siklik dan CRR (Cyclic Resistance Ratio), yang merupakan ratio ketahanan terhadap beban siklik atau ketahanan menahan terjadinya likuifaksi. Untuk mengevaluasi nilai CSR, dalam penulisan ini menggunakan persamaan dari Seed & Idriss (1971) :

$$CSR = 0.65 \times \frac{\alpha_{max}}{g} \times \frac{\sigma v}{\sigma'v} \times rd \tag{2}$$

Dimana :

- amax = Percepatan maksimum gempa dipermukaan tanah (g)
- g = Percepatan Gravitasi bumi (m/s²)
- σ'v = Tegangan efektif tanah dikedalaman z (kN/m²)
- σv = Tegangan total tanah dikedalaman z (kN/m²)
- rd = Koefisien reduksi tegangan

Untuk nilai CRR yang sudah dikoreksi terhadap kandungan partikel halus ditanah memakai rumus dari Idriss & Boulanger (2014). CRR diatur dengan referensi nilai magnitude 7.5 didapat persamaan untuk menghitung CRR7.5 :

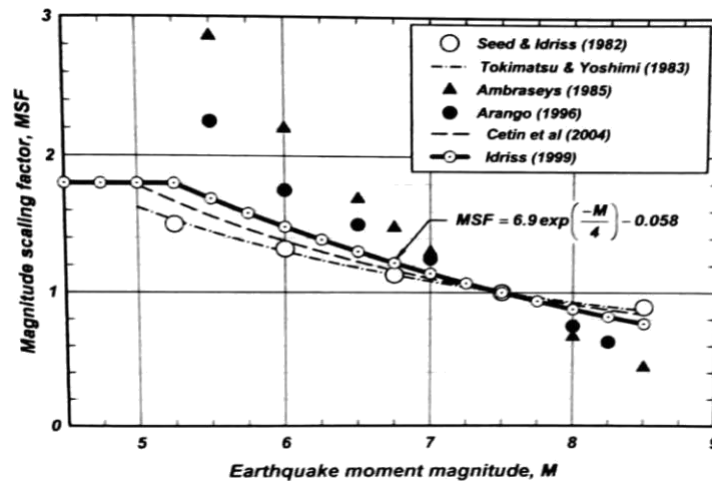
$$CRR_{7.5} = \exp \left[\frac{(N1)60.cs}{14.1} + \left[\frac{(N1)60.cs}{126} \right]^2 - \left[\frac{(N1)60.cs}{23.6} \right]^3 + \left[\frac{(N1)60.cs}{25.4} \right]^4 - 2.8 \right] \tag{3}$$

$$(N1)60.cs = (N1)60 + \Delta(N1)60 \tag{4}$$

$$\Delta(N1)60 = \exp \left[1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left[\frac{15.7}{FC + 0.01} \right]^2 \right] \tag{5}$$

- Dimana :
- CRR7.5 = Cyclic Resistance Ratio direferensi gempa (Mw = 7.5)
 - (N1)60.cs = Nilai (N1)60 yang sudah dikoreksi clean - sands
 - (N1)60 = Nilai SPT yang sudah dikoreksi tegangan tanah
 - FC = Fines Content (%)
 - $\Delta(N1)60$ = Koefisien

Magnitude Scaling Factor (MSF) dipakai untuk menyesuaikan nilai Cyclic Resistance Ratio (CRR) ke nilai yang umum yaitu Momen Magnitude (Mw) = 7.5.



Gambar 4. Magnitude Scaling Factor berdasarkan Moment Magnitude atau Mw (“Soil Liquefaction During Earthquakes” I.M. Idriss & R. W. Boulanger)

Untuk menganalisis nilai Magnitude Scaling Factor (MSF), persamaan yang dipakai adalah persamaan menurut Idriss (1999) seperti berikut ini :

$$MSF = -0.058 + 6.9 \exp(-0.25 * Mw) \leq 1.8 \tag{6}$$

Untuk menghitung nilai CRR dengan besar Moment Magnitude selain dari 7.5, diperlukan faktor koreksi yaitu nilai MSF dan nilai $K\sigma$ dimana nilai $K\sigma$ adalah nilai koreksi tegangan total. Seed (1983) memberikan persamaan, yaitu :

$$CRR_M = CRR_{M=7.5} * MSF * K\sigma \tag{7}$$

$$K\sigma = 1 - C\sigma \ln\left(\frac{\sigma'v}{Pa}\right) \leq 1.1 \tag{8}$$

$$C\sigma = \frac{1}{18.9 - 2.55\sqrt{(N1)60.cs}} \tag{9}$$

- Dimana :
- CRRM = Cyclic Resistance Ratio direfrensi gempa
 - $C\sigma$ = Faktor koreksi nilai CRR
 - (N1)60.cs = Nilai N – SPT yang sudah dikoreksi
 - $\sigma'v$ = Tegangan efektif vertikal (kN/m2)
 - Pa = Tekanan atmosfer (100 kN/m2)

Metode untuk mengevaluasi potensi likuifaksi menggunakan nilai Faktor Keamanan dari hasil perbandingan nilai Cyclic Resistance Ratio (CRR) dengan nilai Cyclic Stress Ratio (CSR). Faktor Keamanan (FS) yang digunakan tidak diperbolehkan kurang dari satu, karena jika kurang dari satu maka tanah akan mengalami likuifaksi. Dimana dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \tag{10}$$

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Data Tanah

Untuk menganalisis potensi likuifaksi, data tanah dari hasil uji Standart Penetration (SPT) harus dikoreksi terhadap efisiensi alat uji sebesar 60% energy sehingga kita memperoleh nilai N60. Data tanah hasil uji Standart Penetration (SPT) yang dipakai adalah data tanah sekunder yang didapat dari tenaga ahli.

Tabel 1. Data Tanah Jalan Tol Manado-Bitung STA 9+745

Kedalaman	Tebal Lapisan	N - SPT	EF	Cs	Cr	Cb	N60	Jenis Tanah
(m)	(m)							
0-4	4	6	0.85	1	0.85	1	8.00	Lanau Berbatu Kerikil
4-6	2	29	0.85	1	0.85	1	35.00	Lanau Kepasiran
6-8	2	14	0.85	1	0.85	1	16.00	Pasir Kelempungan
8-10	2	7	0.85	1	0.85	1	7.00	Lanau Pasir Halus
10-12	2	35	0.85	1	0.85	1	32.00	Pasir Kelanauan
12-14	2	41	0.85	1	0.85	1	35.00	Lanau Pasir Halus
14-26	12	60	0.85	1	0.85	1	31.00	Pasir Kelanauan

4.2. Analisis Cyclic Stress Ratio (CSR)

Penentuan nilai Cyclic Stress Ratio (CSR) yaitu berdasarkan ratio tegangan tanah, percepatan horizontal gempa dipermukaan tanah (a_{max}), koefisien tegangan reduksi (rd), dan percepatan gravitasi bumi (g).

Tabel 2. Tabel Perhitungan nilai Cyclic Stress Ratio (CSR)

Kedalaman	σ_v/σ'_v	a_{max}/g	CSR	α	β	rd
(m)						
0-4	1.849837	0.05057	0.1934966	-0.197	0.022	2.847301
4-6	1.958651	0.05057	0.0645007	-0.341	0.038	0.949127
6-8	2.013058	0.05057	0.1117128	-0.504	0.057	1.643854
8-10	2.023939	0.05057	0.0856605	-0.682	0.076	1.260494
10-12	2.0856	0.05057	0.0447434	-0.869	0.097	0.658399
12-14	2.129644	0.05057	0.0342469	-1.061	0.118	0.503943
14-26	2.251611	0.05057	0.0460091	-1.998	0.214	0.677024

4.3. Analisis Cyclic Resistance Ratio (CRR)

Persamaan Cyclic Resistance Ratio (CRR) yang dipakai berdasarkan hasil consensus oleh National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER) hanya dikhususkan pada pasir murni (clean – sands) dengan Moment Magnitude (M_w) 7.5.

Untuk mendapatkan nilai Cyclic Resistance Ratio (CRR) dengan variasi Moment Magnitude gempa yang ditinjau atau selain Moment Magnitude (M_w) = 7.5, diperlukan perhitungan faktor koreksi tegangan tanah ($K\sigma$) dan Magnitude Scaling Factor.

Tabel 3. Tabel Perhitungan nilai Cyclic Resistance Ratio Moment Magnitude = 7.5

Kedalaman	Tebal Lapisan	(N1)60.cs	CRR7.5	(N1)60	$\Delta(N1)60$	N60	CN
(m)	(m)						
0-4	4	0.0115	0.0609	0.0098	0.0018	8.00	0.00122
4-6	2	8.8551	0.1102	8.8534	0.0018	35.00	0.25295
6-8	2	2.0751	0.0704	0.0405	2.0347	16.00	0.00253
8-10	2	0.2771	0.0620	0.2753	0.0018	7.00	0.03933
10-12	2	4.0658	0.0809	2.0311	2.0347	32.00	0.06347
12-14	2	10.4478	0.1212	10.446	0.0018	35.00	0.29846
14-26	12	2.7520	0.0738	0.7173	2.0347	31.00	0.02314

Tabel 4. Hasil perhitungan CRR dengan variasi Moment Magnitude (Mw) Gempa

MSF					
Mw = 5	Mw = 5.5	Mw = 6	Mw = 6.5	Mw = 7	Mw = 7.5
1.91888	1.6865932	1.48159810	1.3006905	1.14104021	1.0001493

Setelah menghitung MSF, menggunakan persamaan 7 didapat nilai CRR pada variasi variasi moment magnitudo yang ditinjau (Tabel 5).

Tabel 5. Hasil perhitungan CRR dengan variasi Moment Magnitude (Mw) Gempa

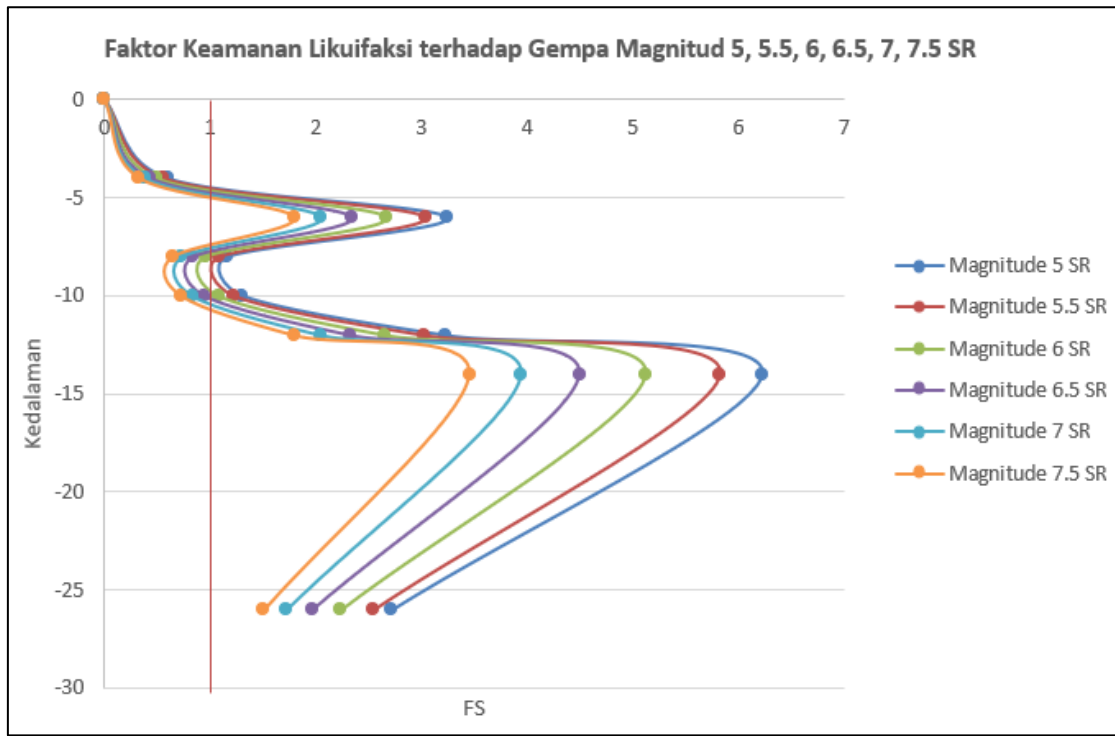
Kedalaman	CRRM					
	Mw = 5	Mw = 5.5	Mw = 6	Mw = 6.5	Mw = 7	Mw = 7.5
0-4	0.108	0.095	0.083	0.073	0.064	0.108
4-6	0.196	0.172	0.151	0.132	0.116	0.196
6-8	0.121	0.106	0.093	0.082	0.072	0.121
8-10	0.105	0.092	0.081	0.071	0.062	0.105
10-12	0.135	0.119	0.104	0.092	0.080	0.135
12-14	0.200	0.175	0.154	0.135	0.118	0.200
14-26	0.117	0.103	0.090	0.079	0.069	0.117

4.4. Analisis Potensi Likuifaksi

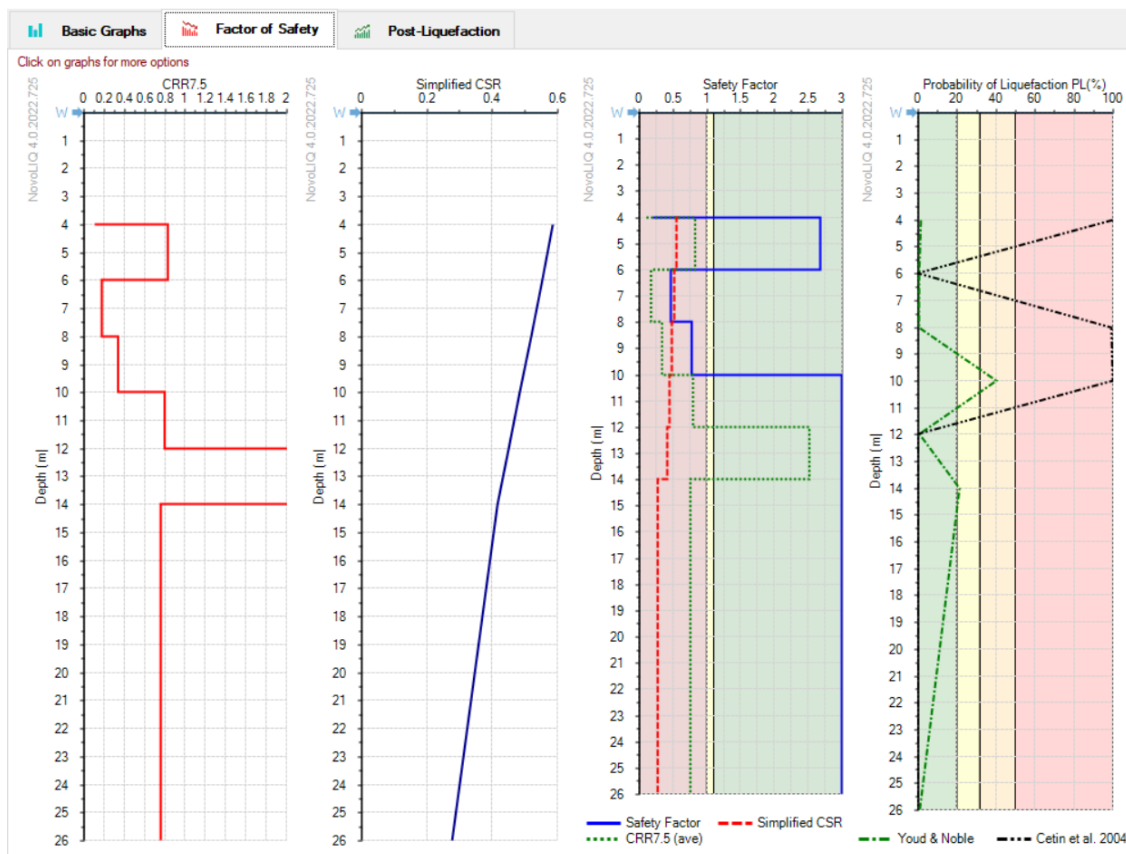
Kondisi muka air tanah yang ditinjau = 0 m. Evaluasi potensi Likuifaksi dengan menggunakan metode Faktor Keamanan (FS), yang mana tanah dapat mengalami Likuifaksi jika $FS < 1$, tanah tersebut dikatakan dalam kondisi kritis Likuifaksi jika $FS = 1$, dan tanah tersebut aman terhadap Likuifaksi jika $FS > 1$.

4.5. Analisis Potensi Likuifaksi menggunakan Novoliq

Novoliq adalah salah satu aplikasi analisis geoteknik yang dapat menganalisis Potensi terjadinya Likuifaksi menggunakan data N-SPT dengan lebih presisi dan cepat.



Gambar 5. Grafik rekapitulasi Faktor Keamanan vs. Kedalaman divariasi Mw



Gambar 6. Grafik Hasil Analisis CRR, CSR & FS menggunakan NovolIQ

Tabel 5. Hasil Analisis Menggunakan Aplikasi Novoliq

MAGNITUDE 5																
Depth (m)	Rd	Rd_I&B	Overburden Stress (kPa)		Fines Content (%)	SPT Test				Relative Density Dr (%)	Simplified CSR	CSR_I&B	CRR7.5 Boulanger & Idriss (2014)	CRR7.5 (ave)	Safety Factor Boulanger & Idriss (2014)	Safety Factor
			Total	Effective		N	Co	Cn	Nl(60)							
4	0.929	0.929	76	36.77	5	6	0.86	1.53	8	41.5	0.586	0.586	0.11	0.11	0.21	0.21
6	0.879	0.879	114	55.16	5	29	0.93	1.31	35	87.6	0.554	0.554	0.83	0.83	2.68	2.68
8	0.825	0.825	152	73.54	12	14	0.96	1.16	16	61.8	0.52	0.52	0.18	0.18	0.47	0.47
10	0.77	0.77	190	91.93	5	7	0.98	1.04	7	39.2	0.485	0.485	0.34	0.34	0.78	0.78
12	0.715	0.715	228	110.32	12	35	0.98	0.94	32	87	0.451	0.451	0.8	0.8	3	3
14	0.662	0.662	266	128.7	5	41	0.99	0.85	35	86.8	0.417	0.417	2.52	2.52	3	3
26	0.441	0.441	494	239.02	12	60	1	0.52	31	85.5	0.278	0.278	0.76	0.76	3	3
MAGNITUDE 5.5																
Depth (m)	Rd	Rd_I&B	Overburden Stress (kPa)		Fines Content (%)	SPT Test				Relative Density Dr (%)	Simplified CSR	CSR_I&B	CRR7.5 Boulanger & Idriss (2014)	CRR7.5 (ave)	Safety Factor Boulanger & Idriss (2014)	Safety Factor
			Total	Effective		N	Co	Cn	Nl(60)							
4	0.929	0.929	76	36.77	5	6	0.86	1.53	8	41.5	0.586	0.586	0.11	0.11	0.21	0.21
6	0.879	0.879	114	55.16	5	29	0.93	1.31	35	87.6	0.554	0.554	0.83	0.83	2.68	2.68
8	0.825	0.825	152	73.54	12	14	0.96	1.16	16	61.8	0.52	0.52	0.18	0.18	0.47	0.47
10	0.77	0.77	190	91.93	5	7	0.98	1.04	7	39.2	0.485	0.485	0.34	0.34	0.78	0.78
12	0.715	0.715	228	110.32	12	35	0.98	0.94	32	87	0.451	0.451	0.8	0.8	3	3
14	0.662	0.662	266	128.7	5	41	0.99	0.85	35	86.8	0.417	0.417	2.52	2.52	3	3
26	0.441	0.441	494	239.02	12	60	1	0.52	31	85.5	0.278	0.278	0.76	0.76	3	3
MAGNITUDE 6																
Depth (m)	Rd	Rd_I&B	Overburden Stress (kPa)		Fines Content (%)	SPT Test				Relative Density Dr (%)	Simplified CSR	CSR_I&B	CRR7.5 Boulanger & Idriss (2014)	CRR7.5 (ave)	Safety Factor Boulanger & Idriss (2014)	Safety Factor
			Total	Effective		N	Co	Cn	Nl(60)							
4	0.94	0.94	76	36.77	5	6	0.86	1.53	8	41.5	0.592	0.592	0.11	0.11	0.2	0.2
6	0.896	0.896	114	55.16	5	29	0.93	1.31	35	87.6	0.565	0.565	0.83	0.83	2.52	2.52
8	0.849	0.849	152	73.54	12	14	0.96	1.16	16	61.8	0.535	0.535	0.18	0.18	0.42	0.42
10	0.8	0.8	190	91.93	5	7	0.98	1.04	7	39.2	0.504	0.504	0.34	0.34	0.73	0.73
12	0.75	0.75	228	110.32	12	35	0.98	0.94	32	87	0.473	0.473	0.8	0.8	2.9	2.9
14	0.702	0.702	266	128.7	5	41	0.99	0.85	35	86.8	0.443	0.443	2.52	2.52	3	3
26	0.491	0.491	494	239.02	12	60	1	0.52	31	85.5	0.31	0.31	0.76	0.76	3	3
Magnitude 6.5																
Depth (m)	Rd	Rd_I&B	Overburden Stress (kPa)		Fines Content (%)	SPT Test				Relative Density Dr (%)	Simplified CSR	CSR_I&B	CRR7.5 Boulanger & Idriss (2014)	CRR7.5 (ave)	Safety Factor Boulanger & Idriss (2014)	Safety Factor
			Total	Effective		N	Co	Cn	Nl(60)							
4	0.95	0.95	76	36.77	5	6	0.86	1.53	8	41.5	0.599	0.599	0.11	0.11	0.19	0.19
6	0.914	0.914	114	55.16	5	29	0.93	1.31	35	87.6	0.576	0.576	0.83	0.83	2.08	2.08
8	0.873	0.873	152	73.54	12	14	0.96	1.16	16	61.8	0.551	0.551	0.18	0.18	0.38	0.38
10	0.831	0.831	190	91.93	5	7	0.98	1.04	7	39.2	0.524	0.524	0.34	0.34	0.68	0.68
12	0.788	0.788	228	110.32	12	35	0.98	0.94	32	87	0.497	0.497	0.8	0.8	2.33	2.33
14	0.745	0.745	266	128.7	5	41	0.99	0.85	35	86.8	0.47	0.47	2.52	2.52	3	3
26	0.547	0.547	494	239.02	12	60	1	0.52	31	85.5	0.345	0.345	0.76	0.76	3	3
MAGNITUDE 7																
Depth (m)	Rd	Rd_I&B	Overburden Stress (kPa)		Fines Content (%)	SPT Test				Relative Density Dr (%)	Simplified CSR	CSR_I&B	CRR7.5 Boulanger & Idriss (2014)	CRR7.5 (ave)	Safety Factor Boulanger & Idriss (2014)	Safety Factor
			Total	Effective		N	Co	Cn	Nl(60)							
4	0.961	0.961	76	36.77	5	6	0.86	1.53	8	41.5	0.606	0.606	0.11	0.11	0.19	0.19
6	0.931	0.931	114	55.16	5	29	0.93	1.31	35	87.6	0.587	0.587	0.83	0.83	1.7	1.7
8	0.898	0.898	152	73.54	12	14	0.96	1.16	16	61.8	0.566	0.566	0.18	0.18	0.34	0.34
10	0.863	0.863	190	91.93	5	7	0.98	1.04	7	39.2	0.544	0.544	0.34	0.34	0.64	0.64
12	0.827	0.827	228	110.32	12	35	0.98	0.94	32	87	0.521	0.521	0.8	0.8	1.85	1.85
14	0.79	0.79	266	128.7	5	41	0.99	0.85	35	86.8	0.498	0.498	2.52	2.52	3	3
26	0.609	0.609	494	239.02	12	60	1	0.52	31	85.5	0.384	0.384	0.76	0.76	2.41	2.41
MAGNITUDE 7.5																
Depth (m)	Rd	Rd_I&B	Overburden Stress (kPa)		Fines Content (%)	SPT Test				Relative Density Dr (%)	Simplified CSR	CSR_I&B	CRR7.5 Boulanger & Idriss (2014)	CRR7.5 (ave)	Safety Factor Boulanger & Idriss (2014)	Safety Factor
			Total	Effective		N	Co	Cn	Nl(60)							
4	0.972	0.972	76	36.77	5	6	0.86	1.53	8	41.5	0.613	0.613	0.11	0.11	0.18	0.18
6	0.949	0.949	114	55.16	5	29	0.93	1.31	35	87.6	0.599	0.599	0.83	0.83	1.38	1.38
8	0.924	0.924	152	73.54	12	14	0.96	1.16	16	61.8	0.583	0.583	0.18	0.18	0.31	0.31
10	0.897	0.897	190	91.93	5	7	0.98	1.04	7	39.2	0.565	0.565	0.34	0.34	0.6	0.6
12	0.868	0.868	228	110.32	12	35	0.98	0.94	32	87	0.547	0.547	0.8	0.8	1.45	1.45
14	0.838	0.838	266	128.7	5	41	0.99	0.85	35	86.8	0.528	0.528	2.52	2.52	3	3
26	0.677	0.677	494	239.02	12	60	1	0.52	31	85.5	0.427	0.427	0.76	0.76	1.79	1.79

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pada data tanah dan data gempa, nilai faktor keamanan yang dihasilkan menunjukkan nilai CSR yang beragam dan nilai CRR yang relatif kecil pada lapisan pertama sampai pada lapisan tanah di kedalaman 10 meter. Dengan bertambahnya nilai Cyclic Stress Ratio (CSR) seiring berkurangnya nilai Cyclic Resistance Ratio (CRR) maka tanah akan lebih beresiko terhadap bahaya likuifaksi begitu juga sebaliknya dengan nilai Cyclic Resistance Ratio yang semakin besar maka akan semakin aman dari bahaya likuifaksi. Lewat penelitian ini

disimpulkan bahwa terdapat kemungkinan terjadinya likuifaksi pada tanah lapisan 4 meter dan 6 di jalan tol Manado Bitung Sta. 9+745.

Referensi

- Das, B. M., and Z. Luo. 2014. *Principles of Soil Dynamics*. 3rd ed. Cengage Learning
- Das, B. M., & Sivakugan, N. (2016). *Fundamentals of geotechnical engineering*. Cengage Learning
- Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia. (2010). Bandung.
- Youd T., & Garris T. (1996, 1998). *Liquefaction-Induced Ground Surface Disruption*. Brigham Young University
- Idriss, I. M., and W. Boulanger. 2008. *Soil Liquefaction During Earthquakes*. Earthquake Engineering Research Institute
- Seed, R. B., Cetin, K. O., Moss, R. E., Kammerer, A. M., Wu, J., Pestana, J. M., ... & Faris, A. (2003). Recent advances in soil liquefaction engineering: a unified and consistent framework. In *Proceedings of the 26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar*: Long Beach, CA.
- Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung. (2002) SNI-1726
- Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT. (2008). Jakarta.
- Legrans, R. R. (2016). *Studi Potensi Likuifaksi Berdasarkan Uji Penetrasi Standar (SPT) di Pesisir Pantai Belang Minahasa Tenggara*.
- Tijow, K. C, A. Sompie, O. B, and H. Ticoh, J. 2018. "Analisis Potensi Likuifaksi Tanah Berdasarkan Data Standart Penetration Test (SPT) Studi Kasus : Dermaga Bitung, Sulawesi Utara." *Jurnal Sipil Statik*.
- Tandaju, C. A, Manoppo, Fabian J, Jack H Ticoh, 2019. Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam, and Ratulangi Manado.. "Analisis Potensi Likuifaksi (Studi Kasus : PLTU AREA GORONTALO)" *Jurnal Sipil Statik*.
- Warouw, A.G,D, Manoppo, Fabian J, and Steeva Rondonuwu, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi "Analisis Potensi Likuifaksi Dengan Menggunakan Nilai SPT" *Jurnal Sipil Statik*.
- Lonteng, C, V, D; S. Balamba; S. Monintja, and N. Sarajar, A. 2013. "Analisis Potensi Likuifaksi Di PT. PLN (Persero) UIP KIT SULMAPA PLTU 2 Sulawesi Utara 2 X 25 MW Power Plan." *Jurnal Sipil Statik*.