

## ANALISIS TINGKAT POTENSI LIKUIFAKSI DI KOTA MANADO MENGUNAKAN METODE LIQUEFACTION POTENTIAL INDEX

Nabilla Kirana Mokoginta<sup>1\*</sup>, Adang Irawan<sup>2</sup>

<sup>1),2)</sup>Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945

Jl. Sunter Permai Raya No. 1, Jakarta Utara, DKI Jakarta

\*Email: nabillakirrana@gmail.com

### Abstrak

Likuifaksi merupakan suatu fenomena alam yang terjadi akibat gempa bumi, dimana ketika terjadi gempa lapisan tanah granular kehilangan daya dukungnya yang mengakibatkan kegagalan struktur pada bangunan yang berada di atasnya. Letak geografis Kota Manado, menjadikan Kota Manado memiliki potensi tinggi terjadi gempa bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat potensi likuifaksi di Kota Manado. Potensi likuifaksi dianalisis menggunakan Metode Simplified Procedure. Analisis tingkat potensi likuifaksi menggunakan Metode Liquefaction Potential Index. Hasil analisis potensi likuifaksi secara umum menghasilkan nilai  $SF < 1$ , hal ini menunjukkan Kota Manado memiliki potensi likuifaksi. Analisis tingkat potensi likuifaksi menunjukkan hasil tingkat potensi tinggi pada tanah permukaan titik uji 1 dan titik uji 2.

**Kata kunci:** Likuifaksi, Gempa Bumi, Simplified Procedure, LPI, Manado

### Abstract

Liquefaction is a natural phenomenon that occurs due to earthquakes, where when an earthquake occurs, the granular soil layer loses its bearing capacity which results in structural failure of the buildings above it. The geographical location of Manado City makes Manado City has a high potential for earthquakes. This study aims to determine the potential level of liquefaction in the city of Manado. The liquefaction potential was analyzed using the Simplified Procedure Method. Analysis of the level of potential liquefaction using the Liquefaction Potential Index Method. The results of the analysis of the potential for liquefaction generally produce a value of  $SF < 1$ , this shows that Manado City has the potential for liquefaction. The analysis of the level of liquefaction potential shows the results of high potential levels on the surface soil at test point 1 and test point 2.

**Keywords:** Liquefaction, Earthquakes, Simplified Procedure, LPI, Manado

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan satu negara tropis yang memiliki potensi tinggi untuk terjadinya bencana geologi seperti gempa bumi, letusan gunung api, tsunami, dan pergerakan tanah. Hal ini disebabkan karena Indonesia berada di daerah pertemuan tiga lempeng dunia, yaitu Lempeng Pasifik, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Indo-Australia yang saling bergerak dan bertubrukan satu dengan lainnya.

Fenomena likuifaksi akhir-akhir ini menjadi salah satu fenomena alam yang sering dibicarakan masyarakat umum ketika terjadi bencana gempa bumi. Likuifaksi merupakan fenomena dimana lapisan tanah utama kehilangan daya dukungnya akibat beban guncangan gempa dan menyebabkan kegagalan pondasi maupun infrastruktur yang berada di atas lapisan tanah (ESDM, 2019).

Letak geografis Kota Manado terletak di Teluk Manado, dengan daratannya sebagian besar merupakan kawasan perbukitan dan dataran rendah berada di daerah pantai. Hal ini menjadikan Kota Manado sebagai kota pantai yang berbatasan langsung dengan laut dan dikelilingi oleh daerah pegunungan. Kondisi yang seperti ini menyebabkan potensi terjadinya bencana gempa bumi di Kota Manado tinggi. Sepanjang tahun 2019, tercatat 3 kali gempa bumi berskala besar terjadi di Kota Manado, yaitu sebesar 6,3 SR, 7,1 M, dan 7,4 M.

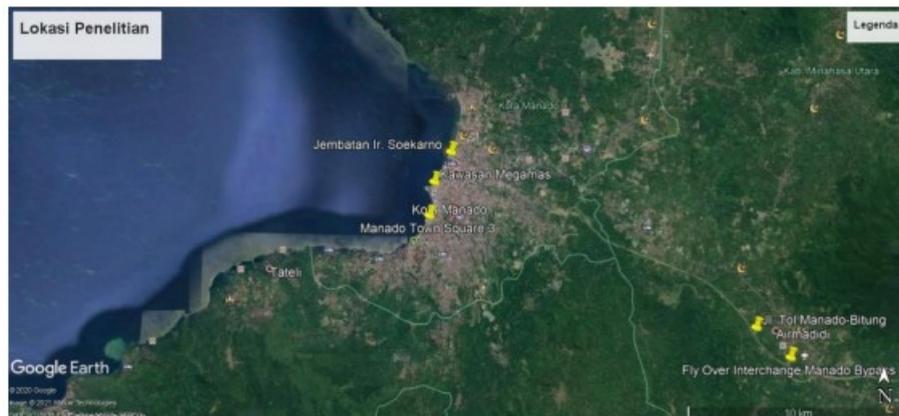
Kementerian ESDM mengeluarkan pemetaan melalui Atlas Zona Kerentanan Likui-faksi Indonesia Tahun 2019, menunjukkan bahwa Kota Manado memiliki zona kerentanan likui-faksi sedang. Melalui latar belakang yang telah diuraikan, perlu dilakukan analisa dan identifikasi di Kota Manado yang memiliki potensi terjadinya likui-faksi sebagai upaya meminimalisasi kerugian yang dapat ditimbulkan.

Pembahasan dalam penelitian ini potensi likui-faksi di Kota Manado berdasarkan Metode Simplified Procedure dan tingkat potensi likui-faksi di Kota Manado berdasarkan Metode Liquefaction Potential Index. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi likui-faksi berdasarkan Metode Simplified Procedure di Kota Manado, serta mengetahui tingkat potensi likui-faksi berdasarkan metode Liquefaction Potential Index

## 2. METODE PENELITIAN

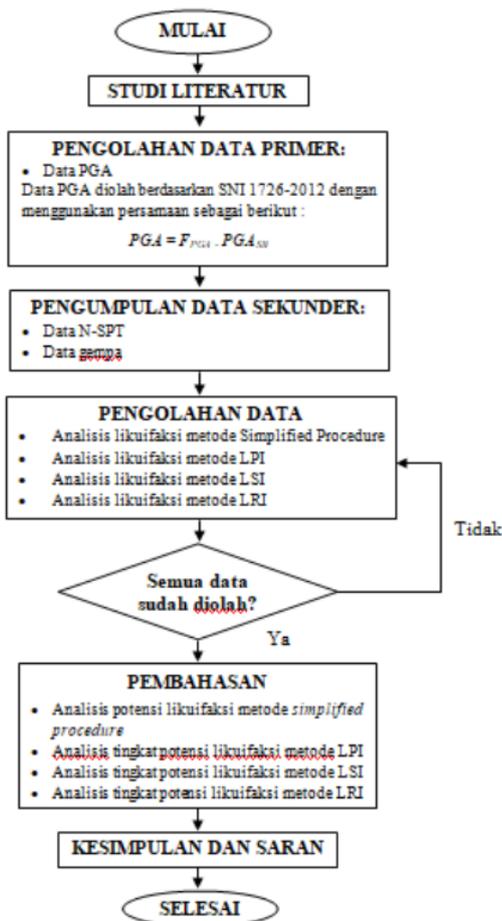
### 2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Kota Manado, Sulawesi Utara, pada 5 titik uji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Titik uji 1 berada di Manado Town Square dengan koordinat garis lintang  $1^{\circ}28'17.78''\text{U}$  dan garis bujur  $124^{\circ}49'52.98''\text{T}$ , titik uji 2 berada di Megamas dengan koordinat garis lintang  $1^{\circ}29'03.92''\text{U}$  dan garis bujur  $124^{\circ}49'58.73''\text{T}$ , titik uji 3 pada Jembatan Ir. Soekarno dengan koordinat garis lintang  $1^{\circ}29'47.81''\text{U}$  dan koordinat garis bujur  $124^{\circ}50'23.17''\text{T}$ , titik uji 4 di Jl. Tol Manado-Bitung dengan koordinat garis lintang  $1^{\circ}25'30.69''\text{U}$  dan garis bujur  $124^{\circ}57'48.91''\text{T}$ , dan titik uji 5 berada di Fly Over Interchange Manado Bypass dengan koordinat garis lintang  $1^{\circ}24'46.68''\text{U}$  dan koordinat garis bujur  $124^{\circ}58'31.91''\text{T}$ .



**Gambar 1. Peta Penelitian  
(Sumber: Google Earth)**

### 2.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

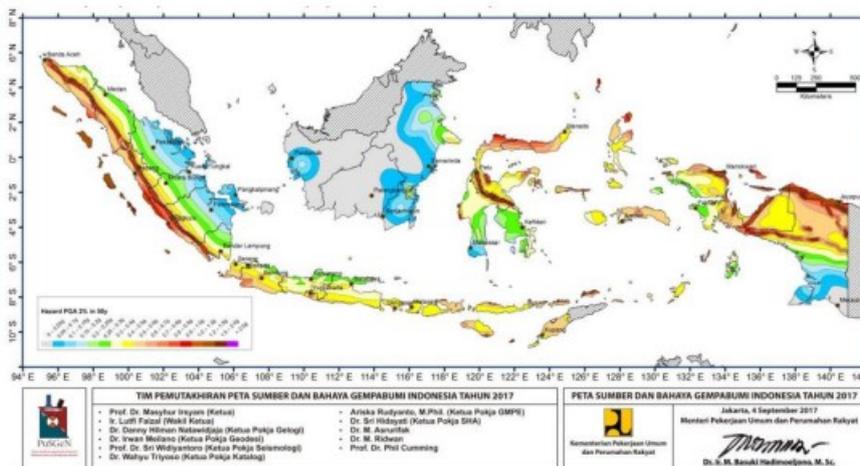
### 2.3 Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer yaitu data PGA yang diolah menggunakan persamaan :

$$PGA = F_{PGA} \cdot PGA_{SB}$$

Dengan:

- PGA = Percepatan puncak muka tanah
- FPGA = Koefisien yang ditentukan dengan Tabel 1
- PGASB = Nilai percepatan puncak batuan dasar yang diperoleh pada peta gempa (Gambar 3)



Gambar 3. Peta Percepatan Puncak Batuan Dasar Untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun

(Sumber: Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017)

**Tabel 1. Koefisien FPGA**

Kelas Situs	$PGA_{SB} \leq 0,1$	$PGA_{SB} = 0,2$	$PGA_{SB} = 0,3$	$PGA_{SB} = 0,4$	$PGA_{SB} \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi				

(Sumber: SNI 1726-2012)

Penggolongan situs tanah pada Tabel 1, dapat dilihat berdasarkan Tabel 2 berikut.

**Tabel 2. Kategori Kelas Situs Tanah**

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/s)	$\bar{N}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (Batuan Keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (Batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (Tanah Keras, Sangat Padat dan Batuan Lunak)	350 sampai 750	> 50	> 100
SD (Tanah Sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (Tanah Lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau, setiap profil dengan tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan $PI > 20$ , $w > 40\%$ dan $S_u < 25$ kPa		
SF (Tanah Khusus)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>➢ Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3</math> m)</li> <li>➢ Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7,5</math> m dengan Indeks Plastisitas <math>PI &gt; 75</math>)</li> <li>➢ Lapisan lempung lunak / medium kaku dengan ketebalan <math>H &gt; 35</math> m dengan <math>S_u &lt; 50</math> kPa</li> </ul>		

(Sumber: SNI 1726-2012)

Data sekunder yang digunakan berupa data N-SPT tanah (Tabel 3 – Tabel 7) yang diperoleh dari informasi tertulis melalui penelitan-penelitian sebelumnya.

**Tabel 3. Data N-SPT Titik Uji 1 (Manado Town Square)**

Tebal (m)	Kedalaman (m)	N-SPT
1	1	4
2	3	5
2	5	6
2	7	6
2	9	6
2	11	8
2	13	17
2	15	48
2	17	51
2	19	52

Sumber : Randyanto et. al, 2015

**Tabel 4. Data N-SPT Titik Uji 2 (Megamas)**

Tebal (m)	Kedalaman (m)	N-SPT
0,5	0,5	18
3	3,5	6
2,5	6	6
0,2	6,2	10
3,8	10	34

Sumber : Kiriw, 2015

Tabel 5. Data N-SPT Titik Uji 3 (Jembatan Ir. Soekarno)

Tebal (m)	Kedalaman (m)	N-SPT
10	10	4
2	12	12
8	20	38
12	32	50
18	50	38

Sumber : Talumepa et. Al, 2019

Tabel 6. Data N-SPT Titik Uji 4 (Jl. Tol Manado – Bitung)

Tebal (m)	Kedalaman (m)	N-SPT
10	10	1
5	15	5
5	20	10
5	25	20
5	30	40

Sumber : Sorongan et. Al, 2018

Tabel 7. Data N-SPT Titik Uji 5 (Fly Over Interchange Manado By Pass)

Kedalaman (m)	Kedalaman (m)	N-SPT
1,5	1,5	31
1,5	3	39
1,5	4,5	54
1,5	6	64
1,5	7,5	44
1,5	9	39
1,5	10,5	57
1,5	12	59
1,5	13,5	59
1,5	15	70

Sumber : Kalesaran et. Al, 2017

Data gempa yang digunakan untuk analisis potensi likuifaksi berdasarkan data historis gempa besar yang pernah terjadi di Kota Manado berdasarkan USGS, dengan magnitudo gempa sebesar 7,5 M.

## 2.4 Analisis Potensi Likuifaksi Metode *Simplified Procedure*

Metode *simplified procedure* dikembangkan oleh Seed dan Idriss (1971) untuk menganalisis likuifaksi menggunakan data SPT pada ketebalan tanah tertentu. Nilai rasio tegangan siklik (CSR) dan nilai rasio tahanan siklik (CRR) diperlukan untuk analisis menggunakan metode ini.

### 2.4.1 Cyclic Stress Ratio (CSR)

Cyclic stress ratio atau rasio tegangan siklik merupakan nilai perbandingan antara tegangan geser pada elemen kecil tanah jenuh air dengan tegangan kekangnya akibat gempa. Perhitungan nilai CSR menggunakan persamaan dari Seed dan Idriss (1971):

$$CSR = 0,65 \left( \frac{a_{max}}{g} \right) \left( \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) r_d$$

$$r_d = \frac{1.000 - 0,4113z^{0,5} + 0,04052z + 0,001753z^{1,5}}{(1.000 - 0,4177z^{0,5} + 0,05729z - 0,006205z^{1,5} + 0,001210z^2)}$$

Dengan:

CSR = *Cyclic Stress Ratio*

$\sigma_v$  = Tegangan vertikal total tanah (kN/m<sup>2</sup>)

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

$a_{max}$  = Percepatan muka tanah maksimum saat gempa (m/s<sup>2</sup>)

$r_d$  = Faktor reduksi kedalaman

$g$  = Percepatan Gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

#### 2.4.2 Cyclic Resistance Ratio (CRR)

Cyclic resistance ratio merupakan nilai perhitungan rasio kekuatan tanah untuk menahan tegangan siklik yang terjadi akibat peristiwa gempa bumi. Untuk menghitung nilai CRR menggunakan persamaan A. F. Rauch (1997):

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

#### 2.4.3 Faktor Aman (*Safety Ratio*)

Nilai faktor aman dihitung dengan melakukan perbandingan antara nilai CRR dan nilai CSR untuk mengetahui potensi kejadian likuifaksi.

$$SF = \frac{CRR}{CSR}$$

Jika nilai  $SF < 1$ , maka lapisan tanah yang ditinjau memiliki potensi terjadinya likuifaksi, apabila nilai  $SF \geq 1$ , maka lapisan tanah yang ditinjau tidak memiliki potensi kejadian likuifaksi.

#### 2.5 Analisis Tingkat Potensi Likuifaksi Metode Liquefaction Potential Index

Liquefaction potential index merupakan metode indeks potensi likuifaksi yang paling umum digunakan. Metode ini mengasumsikan nilai tekanan kekang akan semakin besar jika lapisan tanah yang mengalami likuifaksi semakin dalam. Dikembangkan oleh Iwasaki et al. (1982) dengan definisi:

$$LPI = \int_0^{20} Fw(z) dz$$

Dengan:

LPI = Nilai Liquefaction Potential Index

F = Potensi kejadian likuifaksi, ditentukan dengan persamaan :  $F = (1 - SF)$  untuk  $SF < 1$ , dan  $F = 0$  untuk  $SF > 1$

$W(z)$  = Faktor bobot kedalaman,  $w(z) = 10 - 0,5 z$ ; dengan  $z$  adalah kedalaman yang ditinjau, maksimum 20 meter

Bobot kejadian likuifaksi berdasarkan metode Liquefaction Potential Index diklasifikasikan dalam Tabel 8.

**Tabel 8. Bobot Kejadian Likuifaksi Metode Liquefaction Potential Index**

Nilai <i>Liquefaction Potential Index</i>	Potensi Terjadinya Likuifaksi
LPI = 0	Sangat Rendah
0 < LPI < 5	Rendah
5 < LPI < 15	Tinggi
LPI > 15	Sangat Tinggi

Sumber : Iwasaki et al., 1982

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Analisis Potensi Likui-faksi Metode *Simplified Procedure*

Analisis potensi likui-faksi pada penelitian ini menggunakan Metode Simplified Procedure. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan data-data yang telah disebutkan pada poin-poin sebelumnya. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai CSR menggunakan persamaan (2) dan nilai CRR menggunakan persamaan (4), setelahnya dilakukan perhitungan nilai faktor keamanan menggunakan persamaan (7). Selanjutnya, hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 9 – Tabel 13.

**Tabel 9. Analisis Potensi Likui-faksi Pada Titik 1**

Kedalaman (m)	N-SPT	CSR	CRR	SF	Status
1	4	0,835	0,077	0,1	Likui-faksi
3	5	0,766	0,085	0,1	Likui-faksi
5	6	0,709	0,091	0,1	Likui-faksi
7	6	0,696	0,087	0,1	Likui-faksi
9	6	0,678	0,084	0,1	Likui-faksi
11	8	0,583	0,095	0,2	Likui-faksi
13	17	0,541	0,167	0,3	Likui-faksi
15	48	0,357	0,664	1,9	Tidak Likui-faksi
17	51	0,358	-1,347	0,0	Likui-faksi
19	52	0,324	0,959	3,0	Tidak Likui-faksi

Sumber : Hasil Pengolahan Data

**Tabel 10. Analisis Potensi Likui-faksi Pada Titik 2**

Kedalaman (m)	N-SPT	CSR	CRR	SF	Status
0,5	18	0,638	0,308	0,5	Likui-faksi
3,5	6	0,717	0,094	0,1	Likui-faksi
6	6	0,703	0,089	0,1	Likui-faksi
6,2	10	0,578	0,123	0,2	Likui-faksi
10	34	0,516	0,684	1,3	Tidak Likui-faksi

Sumber : Hasil Pengolahan Data

**Tabel 11. Analisis Potensi Likui-faksi Pada Titik 3**

Kedalaman (m)	N-SPT	CSR	CRR	SF	Status
10	4	0,760	0,068	0,1	Likui-faksi
12	12	0,647	0,133	0,2	Likui-faksi
20	38	0,330	0,282	0,9	Likui-faksi
32	50	0,225	0,212	0,9	Likui-faksi
50	38	0,226	0,143	0,6	Likui-faksi

Sumber : Hasil Pengolahan Data

**Tabel 12. Analisis Potensi Likui-faksi Pada Titik 4**

Kedalaman (m)	N-SPT	CSR	CRR	SF	Status
10	1	1,014	0,050	0,0	Likui-faksi
15	5	0,595	0,071	0,1	Likui-faksi
20	10	0,374	0,089	0,2	Likui-faksi
25	20	0,331	0,140	0,4	Likui-faksi
30	40	0,260	0,208	0,8	Likui-faksi

Sumber : Hasil Pengolahan Data

**Tabel 13 Analisis Potensi Likui-faksi Pada Titik 5**

Kedalaman (m)	N-SPT	CSR	CRR	SF	Status
1,5	31	0,732	0,186	0,3	Likuifaksi
3	39	0,629	0,277	0,4	Likuifaksi
4,5	54	0,580	0,394	0,7	Likuifaksi
6	64	0,505	0,396	0,8	Likuifaksi
7,5	44	0,566	0,167	0,3	Likuifaksi
9	39	0,593	-0,248	-0,4	Likuifaksi
10,5	57	0,513	0,239	0,5	Likuifaksi
12	59	0,478	0,195	0,4	Likuifaksi
13,5	59	0,453	0,128	0,3	Likuifaksi
15	70	0,379	0,072	0,2	Likuifaksi

Sumber : Hasil Pengolahan Data

### 3.2 Analisis Tingkat Potensi Likuifaksi Metode Liquefaction Potential Index

Hasil analisis tingkat potensi likuifaksi Metode Liquefaction Potential Index disajikan pada Tabel 14 – Tabel 18.

Tabel 14. Analisis LPI Pada Titik 1

Kedalaman (m)	SF	F	w(z)	LPI	Potensi Terjadinya Likuifaksi
1	0,1	0,9	9,5	8,6	Tinggi
3	0,1	0,9	8,5	7,6	Tinggi
5	0,1	0,9	7,5	6,5	Tinggi
7	0,1	0,9	6,5	5,7	Tinggi
9	0,1	0,9	5,5	4,8	Rendah
11	0,2	0,8	4,5	3,8	Rendah
13	0,3	0,7	3,5	2,4	Rendah
15	1,9	0,0	2,5	0,0	Sangat Rendah
17	0,0	1,0	1,5	1,5	Rendah
19	3,0	0,0	0,5	0,0	Sangat rendah

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Tabel 15. Analisis LPI Pada Titik 2

Kedalaman (m)	SF	F	w(z)	LPI	Potensi Terjadinya Likuifaksi
0,5	0,5	0,5	9,75	5,0	Tinggi
3,5	0,1	0,9	8,25	7,2	Tinggi
6	0,1	0,9	7	6,1	Tinggi
6,2	0,2	0,8	6,9	5,4	Tinggi
10	1,3	0,0	5	0,0	Sangat Rendah

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Tabel 16. Analisis LPI Pada Titik 3

Kedalaman (m)	SF	F	w(z)	LPI	Potensi Terjadinya Likuifaksi
10	0,1	0,9	5	4,6	Rendah
12	0,2	0,8	4	3,2	Rendah
20	0,9	0,1	0	0,0	Sangat Rendah
32	0,9	0,1	-6	-0,3	Rendah
50	0,6	0,4	-15	-5,5	Rendah

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Tabel 17. Analisis LPI Pada Titik 4

Kedalaman (m)	SF	F	w(z)	LPI	Potensi Terjadinya Likuifaksi
10	0,0	1,0	5,00	4,8	Rendah
15	0,1	0,9	2,50	2,2	Rendah
20	0,2	0,8	0,00	0,0	Sangat Rendah
25	0,4	0,6	-2,50	-1,4	Rendah
30	0,8	0,2	-5,00	-1,0	Rendah

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Tabel 18. Analisis LPI Pada Titik 5

Kedalaman (m)	SF	F	w(z)	LPI	Potensi Terjadinya Likuifaksi
1,5	0,3	0,7	9,25	6,9	Tinggi
3	0,4	0,6	8,50	4,8	Rendah
4,5	0,7	0,3	7,75	2,5	Rendah
6	0,8	0,2	7,00	1,5	Rendah
7,5	0,3	0,7	6,25	4,4	Rendah
9	-0,4	1,4	5,50	7,8	Tinggi
10,5	0,5	0,5	4,75	2,5	Rendah
12	0,4	0,6	4,00	2,4	Rendah
13,5	0,3	0,7	3,25	2,3	Rendah
15	0,2	0,8	2,50	2,0	Rendah

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Berdasarkan hasil penelitian potensi likuifaksi dengan menggunakan Metode Simplified Procedure, secara keseluruhan menunjukkan nilai  $SF < 1$ , yang berarti tiap lapisan tanah pada 5 titik uji memiliki potensi likuifaksi. Hasil analisis tingkat potensi likuifaksi Metode Liquefaction Potential Index menunjukkan pada titik uji 1, lapisan tanah dari kedalaman 1 sampai dengan kedalaman 9 memiliki potensi likuifaksi yang tinggi dan lainnya rendah. Pada titik uji 2 hanya pada kedalaman 10 yang menunjukkan tingkat potensi likuifaksi sangat rendah, sedangkan pada kedalaman 0,5 sampai 6,2 memiliki tingkat potensi likuifaksi yang tinggi. Pada titik 3, 4, dan 5 cenderung memiliki tingkat potensi likuifaksi yang rendah. Hal ini menunjukkan, secara keseluruhan, Kota Manado memiliki potensi untuk terjadinya likuifaksi, namun berada pada tingkat yang rendah.

#### 4. KESIMPULAN

##### 4.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari analisis tingkat potensi likuifaksi di Kota Manado adalah :

1. Analisis potensi likuifaksi Metode Simplified Procedure umumnya menunjukkan hasil  $SF < 1$ , sehingga Kota Manado memiliki potensi likuifaksi.
2. Dari 5 titik uji, hanya titik uji 1 dan titik uji 2 yang memiliki tingkat potensi likuifaksi tinggi pada permukaan tanah, sedangkan yang lainnya cenderung memiliki tingkat potensi likuifaksi rendah.

##### 4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya :

1. Perlu dilakukan penambahan titik uji SPT untuk meningkatkan hasil analisis tingkat potensi likuifaksi di Kota Manado.
2. Diketahui bahwa pada titik uji 1 dan titik uji 2 menghasilkan tingkat potensi likuifaksi yang tinggi pada permukaan tanah. Untuk dalam pembangunan infrastruktur pada kawasan titik uji 1 disarankan membuat pondasi dalam  $> 9$  meter. Untuk titik uji 2, disarankan membuat pondasi dalam  $> 10$  meter

#### DAFTAR PUSTAKA

ESDM, 2019. Atlas Zona Kerentanan Likuifaksi Indonesia. ISBB 978-602-9105 78-0

- Iwasaki, T., Arakawa, T., and Tokida, K., 1984, Simplified Procedures for Assessing Soil Liquefaction during Earthquakes, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.3, Southampton, hal. 49-58.
- Kalesaran, M. A., Manoppo, F. J., Manaroinsong, L. D. K., 2017. Respon Spektra Fly Over Interchange Manado By Pass. Jurnal Sipil Statik. Vol. 5. No. 10
- Kiriw, V. P., 2015. Desain Struktur Atas dan Metode Pelaksanaan Bangunan Ruko “Mega Style” Megamas Manado. Tugas Akhir. Manado: Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado.
- PuSGeN, 2017. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. ISBN 978-602-5489-01-3.
- Randyanto, E. F., Sumampouw, J. E. R., Balamba, S., 2015. Analisis Daya Dukung Tiang Pancang dengan Menggunakan Metode Statik dan Calendring Studi Kasus : Proyek Pembangunan Manado Town Square 3. Jurnal Sipil Statik. Vol. 3. No. 9.
- Rauch, A.F., 1997, EPOLLS : An Empirical for Predicting Surface Displacements Due to Liquefaction – Induced Lateral Spreading in Earthquakes, Dissertation, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
- Seed, H.B., and Idriss, I.M., 1971, Simplified Procedure for Evaluation Soil Liquefaction Potential, Journal of Soil Mechanics and Foundation, Division, ASCE, vol. 97, No.9, pp 1249-1273.
- SNI 1726-2012. 2012. Rancangan Standar Nasional Indonesia - Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Departemen Pekerjaan Umum.
- Sorongan, C. D., Manoppo, F. J., Rondonuwu, S. G., 2018. Analisis Pile Slab Pada Tanah Rawa (Jalan Tol Manado-Bitung). Jurnal Tekno. Vol. 16. No. 70.
- Talumepa, J. R., Manoppo, F. J., Manaroinsong, D. K., 2017. Respon Spektra pada Jembatan Ir. Soekarno Manado. Jurnal Sipil Statik. Vol. 7. No. 7.