

POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA N-SPT DAN VARIASI MAGNITUDE GEMPA SERTA UPAYA MITIGASI (Studi Kasus Teluk Bayur, Kota Padang)

Nabilla Dwi Listyorini¹
Universitas Bung Hatta
nabilladwilis01@gmail.com

Indra Khaidir²
Universitas Bung Hatta
indrakhaidi@bunghatta.ac.id

ABSTRAK

Likuifaksi merupakan fenomena geoteknik yang terjadi ketika tanah kehilangan kekuatannya akibat gempa bumi. Kota Padang, khususnya Teluk Bayur berada pada kawasan pinggir pantai dan terletak di wilayah rawan gempa, dengan muka air tanah yang dangkal dalam rentan 0.05 meter hingga 1 meter, memiliki risiko tinggi terhadap fenomena likuifaksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi likuifaksi di Teluk Bayur berdasarkan data Standard Penetration Test (SPT) dan variasi magnitudo gempa mulai dari Mw 5,5 hingga Mw 7,6. Serta memberikan rekomendasi mitigasi yang sesuai sebagai upaya perbaikan tanah yang rentan terhadap potensi likuifaksi. Metode penelitian mengacu pada metode Seed et al. (1975), yang melibatkan perhitungan Cyclic Stress Ratio (CSR), Cyclic Resistance Ratio (CRR), dan faktor keamanan (SF) sebagai indikator utama potensi likuifaksi. Hasil perhitungan menunjukkan sebagian besar wilayah teluk bayur memiliki tanah berpasir lepas yang berpotensi likuifaksi, terutama pada kedalaman 2 meter hingga 10 meter dengan magnitude gempa Mw 7,6. Tingkat risiko likuifaksi di daerah ini tergolong dalam kategori tinggi, bergantung pada kondisi tanah dan besarnya gempa yang terjadi. Upaya mitigasi meliputi metode stone coloumn, deep soil mixing, dan vibro-compaction

Kata Kunci: Gempa Bumi, Likuifaksi, Teluk Bayur, N-SPT, Faktor Keamanan, Mitigasi

ABSTRACT

Liquefaction is an geotechnical phenomenon that occurs when the soil loses its strength due to an earthquake. Padang city, especially Teluk Bayur is located in a coastal area and is located in an earthquake-prone area, with shallow groundwater levels ranging from 0,05 meter to 1 meter, has a high risk of liquefaction phenomena. This study aims to analyze the potential for liquefaction in Teluk Bayur based on standard penetration test (SPT) data and variations in earthquake magnitudes ranging from Mw 5,5 to Mw 7,6. As well as providing appropriate mitigation recommendations as an effort to improve land that is susceptible to liquefaction potential. The research method refers to the method of Seed et al. (1975), which involves calculating the Cyclic Stress Ratio (CSR), Cyclic Resistance Ratio (CRR), and safety factor (SF) as the main indicators of liquefaction potential. The calculation results show that most of the

Teluk Bayur area has loose sandy soil that has the potential for liquefaction, especially at a depth of 2 meters to 10 meters with an earthquake magnitude of Mw 7.6. The risk level of liquefaction in this area is classified as high, depending on the soil conditions and the magnitude of the earthquake. Mitigation efforts include the stone column method, deep soil mixing, and vibro-compaction.

Keyword: Earthquake, liquefaction, Teluk bayur, N-SPT, Safety Factor magnitude Mitigation

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan aktivitas tektonik yang tinggi karena terletak pada pertemuan lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Sumatera Barat khususnya kota Padang termasuk daerah rawan gempa yang sebagian besar wilayahnya berdiri diatas tanah berpasir lepas sehingga sangat berpotensi likuifaksi, terutama di kawasan pinggiran pantai seperti Teluk Bayur. Analisa ini dilakukan tiga titik di Teluk Bayur berdasarkan hasil data pengujian N-SPT oleh PT. Vizasa Graha Utama. Selain itu analisa ini dilakukan berdasarkan kedalaman tanah dimana jenis tanah pada kawasan Teluk Bayur umumnya merupakan jenis tanah berpasir lepas. Mengingat kota Padang juga memiliki muka air tanah yang dangkal dalam rentan 0,05 meter hingga 1 meter sehingga keadaan jenuh air dapat dengan mudah terjadi.

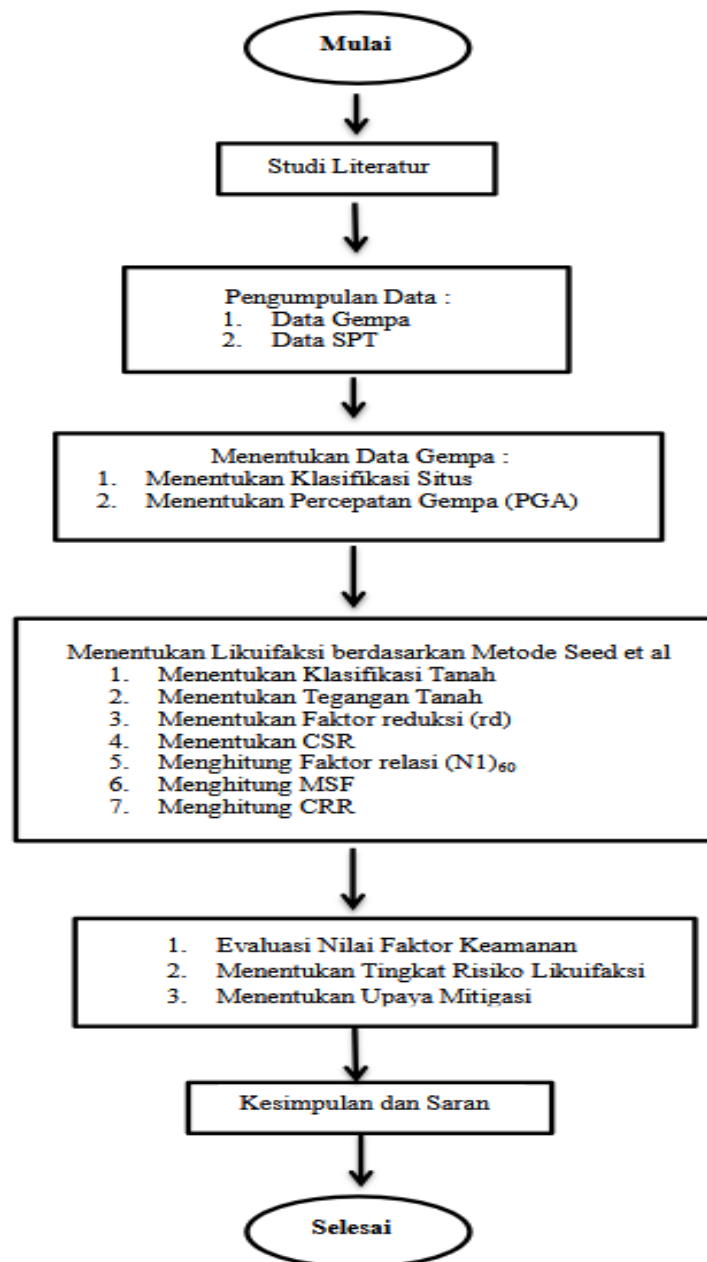
Fenomena likuifaksi terjadi ketika tanah berpasir yang jenuh air kehilangan kekuatannya dan bersifat seperti cairan akibat beban siklik, yaitu beban yang terjadi secara berulang yang menyebabkan tanah mengalami kegagalan (*Fatigue*) kelelahan atau kerusakan pada material tanah akibat gempa, menyebabkan kerusakan infrastruktur diatasnya. Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi likuifaksi di Teluk Bayur menggunakan data N-SPT dan variasi magnitude gempa mulai dari Mw 5,5 hingga Mw 7,6. Dari data pengujian N-SPT didapatkan gambaran klasifikasi tanah yang akan di analisa potensi likuifaksi berdasarkan muka air tanah, kedalaman tanah, dan juga jenis tanah. Setelah dilakukan analisis potensi likuifaksi dapat ditentukan tingkat risiko likuifaksi yang di analisa berdasarkan kedalaman tanah. hal tersebut berfungsi agar dapat menentukan upaya mitigasi bencana yang sesuai terhadap potensi likuifaksi di kawasan Teluk Bayur. Melalui penelitian ini diharapkan dapat di jadikan bahan referensi bagi pemangku kepentingan untuk mempertimbangkan aspek potensi likuifaksi pada daerah Teluk Bayur sebagai upaya untuk meminimalisir kerugian yang dapat muncul dimasa mendatang. Selain itu, diharapkan penelitian ini dapat menjadi sumber pengetahuan yang berguna bagi masyarakat umum mengenai bahaya likuifaksi.

METODE PENELITIAN

Studi kasus yang digunakan dalam penelitian ini adalah 3 titik di kawasan Teluk Bayur Kota Padang. Penelitian ini menggunakan metode analisis Seed et al. (1975) untuk menghitung nilai CSR dan CRR, serta faktor keamanan (SF). Data diperoleh dari hasil investigasi tanah menggunakan uji N-SPT pada tiga titik di Teluk Bayur. Gambar 1 dibawah ini merupakan peta titik lokasi penelitian dan gambar 2 merupakan bagan alir penelitian secara umum sebagai berikut:



Gambar 1. Peta Titik Lokasi Penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Teknik Pengumpulan data

Adapun data sekunder yang dipakai dalam penelitian ini, data pengujian *standard penetration test* (SPT) di dapat dari instansi terkait seperti; PT Vizasa Graha Utama. Data magnitude gempa di peroleh dari situs *USGS* berupa nilai *Mw*, hiposenter dan episenter. Data percepatan gempa dihitung secara manual.

Teknik Analisa Potensi Likuifaksi Dengan Metode Seed et al

Proses analisis kejadian likuifaksi pada lapisan tanah dapat dilakukan menggunakan metode seed et al. Secara prinsip, pendekatan yang digunakan pada metode ini yakni dengan perbandingan tegangan geser yang dihasilkan beban gempa dan kapasitas tegangan geser minimum yang dimiliki tanah.

1. Rasio Tegangan geser atau *Cyclic Stress Ratio* (CSR)

Nilai CSR merupakan ukuran dari tegangan siklik akibat gempa bumi. Tegangan siklik merupakan tegangan yang berulang atau berfluktuasi secara bergantian yang menyebabkan tanah mengalami *Fatigue* atau kelelahan. Perhitungan nilai CSR menggunakan metode seed and idriss pada tahun 1971.

$$CSR = \frac{\tau_{cyc}}{\sigma'} = 0,65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma}{\sigma'} r_d$$

Dimana:

a_{max} = Percepatan maksimum di permukaan tanah (gal)

G = Percepatan gravitasi bumi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

σ' = Tegangan vertikal efektif

σ = Tegangan vertikal total

r_d = Faktor reduksi terhadap tegangan

Nilai 0,65 dalam rumus CSR diperoleh dengan mengasumsikan bahwa tegangan seragam ekuivalen mencapai 65% dari tegangan geser maksimum akibat gempa bumi. Selain itu, ada parameter lain dalam CSR, yaitu percepatan tanah maksimum (a_{max}) yang ditentukan pada saat terjadinya gempa bumi. Nilai percepatan tanah ini merupakan indikator terpenting dalam menentukan tingkat kerusakan yang paling parah di suatu wilayah.

2. Koefisien Reduksi

Koefisien reduksi (r_d) merupakan parameter yang digunakan untuk menghitung nilai (CSR), yang diukur sebagai tegangan pada kedalaman tertentu. Penentuan nilai r_d sendiri bergantung kepada kedalaman tanah yang di analisis. semakin dalam tanah yang ditinjau maka akan semakin pula faktor reduksi yang di terapkan (Seed and idriss, 1971).

$$r_d = 1 - 0,00765 \times z \longrightarrow \text{untuk } z < 9,15 \text{ m}$$

$$r_d = 1,174 - 0,0267 \times z \longrightarrow \text{untuk } 9,15 \text{ m} < z < 23 \text{ m}$$

$$r_d = 0,744 - 0,008 \times z \longrightarrow \text{untuk } 23 \text{ m} < z < 30 \text{ m}$$

$$r_d = 0,5 \longrightarrow \text{untuk } z > 30 \text{ m}$$

Dimana:

z = Kedalaman tanah diukur dari permukaan

3. Magnitude Scale Factor (MSF)

MSF merupakan faktor pengali untuk magnitude gempa dalam skala momen, yang bertujuan agar setara dengan *Cyclic resistance ratio* (CRR). Untuk gempa dengan magnitude kecil dari 7,5 SR menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$MSF = \frac{10^{2,24}}{M_w^{2,56}}$$

Dan untuk gempa lebih besar dari 7,5 SR, menggunakan persamaan MSF sebagai berikut:

$$MSF = \frac{M_w^{-2,56}}{7,5}$$

4. Cyclic Resistance Ratio (CRR)

CRR merupakan nilai kekuatan tanah terhadap beban siklik yang diakibatkan oleh gempa bumi. Nilai CRR adalah nilai tahanan tanah terhadap likuifaksi. Nilai CRR diperoleh dari hasil uji ketahanan penetrasi yang telah dikoreksi.

$$N_{160} = C_N \cdot N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_r \cdot C_s$$

Dimana :

C_B : koreksi akibat ukuran lubang bor

C_E : koreksi terhadap energy pukulan hammer

C_r : koreksi panjang batang uji yang “pendek”

C_s : koreksi tabung sampler SPT

5. Menghitung Faktor keamanan (SF)

Nilai faktor keamanan (SF) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

Dimana :

$SF < 1$ (Likuifaksi)

$SF = 1$ (Kondisi Kritis)

$SF > 1$ (Tidak Likuifaksi)

6. Menentukan tingkat risiko likuifaksi berdasarkan *Liquefaction severity index* (LSI) dan *Liquefaction potential index* (LPI).

Menurut (Anon, 2003) risiko dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Resiko = Frekuensi \times Konsekuensi$$

Nilai Frekuensi dihitung dengan metode *Liquefaction Severity Index* (LSI), dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$PL = \frac{1}{1 + \left(\frac{FK}{0.96}\right)^{4.5}}$$

Untuk mengetahui karakteristik dan efek gelombang dapat diukur dengan metode LSI dalam persamaan probabilitas. Berikut klasifikasi bobot kejadian likuifaksi menurut Youd dan perkins (1978):

Tabel 1. Klasifikasi potensi likuifaksi berdasarkan nilai LSI

Probabilitas	Deskripsi
$0,85 \leq P_L \leq 1$	Hampir Pasti Likuifaksi
$0,65 \leq P_L \leq 0,85$	Sangat Mungkin
$0,35 \leq P_L \leq 0,65$	Mungkin
$0,15 \leq P_L \leq 0,35$	Tidak Mungkin
$0 \leq P_L \leq 0,15$	Hampir Pasti Tidak Likuifaksi

Selanjutnya nilai Konsekuensi di hitung menggunakan persamaan *Liquefaction Potential Index* (LPI). Iwasaki (1982) mengusulkan beberapa klasifikasi tingkat resiko kerusakan dan potensi likuifaksi mulai dari tidak likuifaksi, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Klasifikasi ini divariasikan oleh Sonmez dan Gokceoglu (2005:644) yang dapat dilihat pada tabel berikut”:

Tabel 2. Klasifikasi potensi likuifaksi berdasarkan nilai LPI

LPI	Kategori Potensi Likuifaksi
LPI = 0	Tidak Likuifaksi
$0 < LPI < 2$	Rendah
$2 < LPI < 5$	Sedang
$5 < LPI < 10$	Tinggi
$LPI > 15$	Sangat Tinggi

Konsekuensi yang mungkin terjadi apabila likuifaksi salah satunya adalah kerusakan struktur bawah bangunan yakni pondasi. Untuk menghitung nilai konsekuensi dapat digunakan persamaan LPI yang diusulkan oleh Iwasaki et al (1982) Sebagai berikut :

$$LPI = \sum_{i=1}^n w(i). F(i). H(i)$$

Dimana:

LPI = *Liquefaction Potencial Index*

F(i) = Potensi iterjadi ilikuifasi
 $F(i) = 1 - FK$ untuk $FK < 1$
 $F(i) = 0$ untuk $FK > 1$

FK = Faktor keamanan

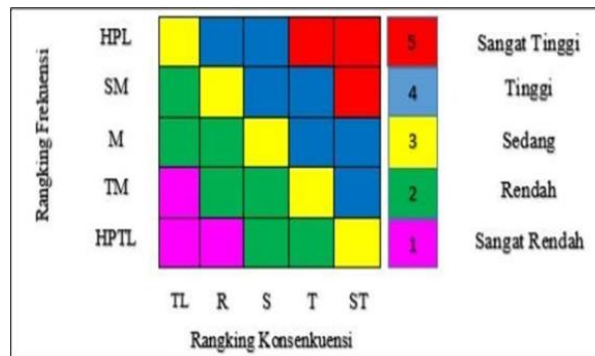
W(i) = Faktor bobot kedalaman
 $W(i) = 10 - 0,5 z$ untuk $0 < z < 20$
 $W(i) = 0$ untuk $z > 20$ meter

Z(i) = Kedalaman titik tengah pada lapisan tanah (m)

H(i) = Selisih ketebalan antar lapisan tanah yang terlikuifaksi (m)

N = Kedalaman tanah

Matriks risiko, seperti ditunjukkan dalam grafik terlampir, diperlukan untuk menghubungkan frekuensi kejadian dan konsekuensinya guna melakukan penilaian risiko.



Gambar 3. Matriks Resiko Likufaksi

Dimana:

- HPL = Hampir pasti likuifaksi
- SM = Sangat mungkin
- M = Mungkin
- TM = Tidak mungkin
- HPTL = Hampir pasti tidak likuifaksi

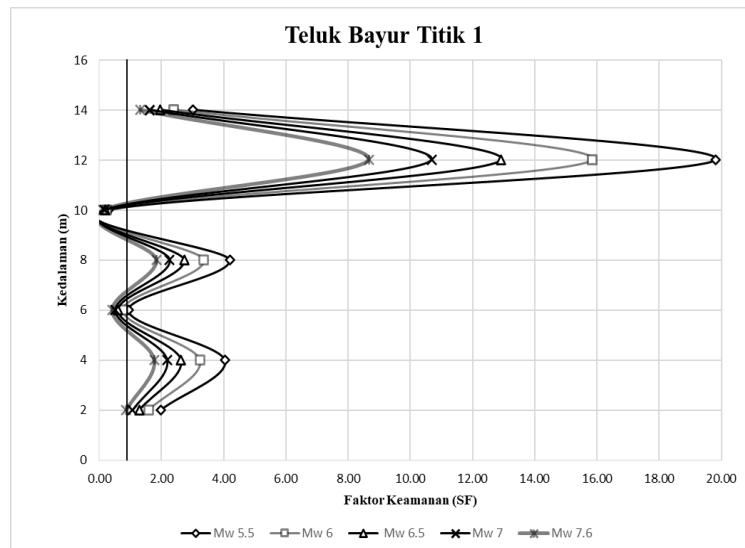
Tabel 3. Tingkat Resiko Likuifaksi

Tingkat Resiko	Keterangan
1	Sangat Rendah
2	Rendah
3	Sedang
4	Tinggi
5	Sangat Tinggi

HASIL DAN PEMBAHASAN

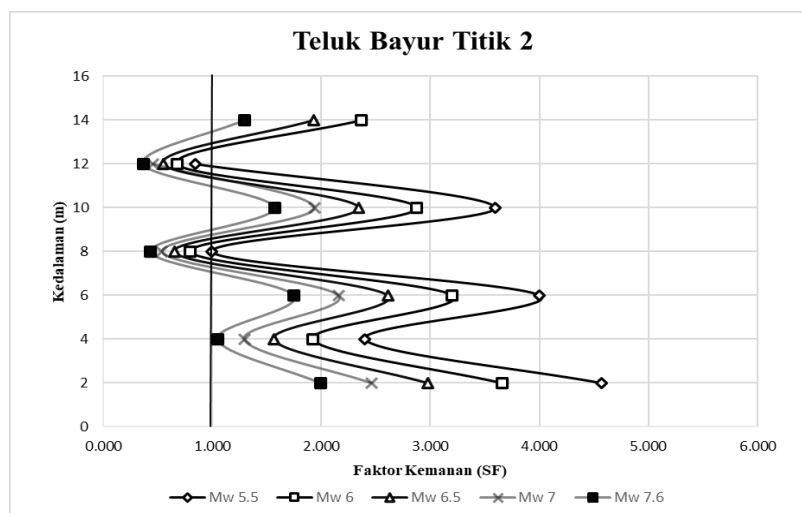
Berdasarkan hasil analisa perhitungan data *Standard Penetration Test* (SPT) di ketiga titik perhitungan didapatkan hasil bahwa tidak semua lapisan tanah berpotensi mengalami likuifaksi. Perbedaan jenis lapisan tanah disetiap kedalaman merupakan salah satu faktor dari potensi likuifaksi. Dimana, likuifaksi merupakan suatu proses perubahan kondisi tanah pasir yang jenuh air menjadi cair (*quick condition*) akibat meningkatnya tegangan air pori yang nilainya sama dengan tegangan total tanah, tegangan total tanah disebabkan terjadinya beban dinamik akibat gempa bumi tektonik, sehingga tegangan efektif tanah menjadi nol.

Gambar dibawah ini merupakan grafik perbandingan antara nilai faktor keamanan (SF) dengan kedalaman lapisan tanah. nilai faktor keamanan dapat dihitung dengan membandingkan nilai *Cyclic Resistance ratio* (CRR) dan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR). Garis hitam Vertikal merupakan garis bantu pada nilai SF = 1 (Kondisi kritis. Apabila faktor keamanan (SF)<1 tanah tidak terlikuifaksi, dan apabila (SF)>1 tanah terlikuifaksi. Dibawah ini merupakan hasil perhitungan yang ditampilkan dalam bentuk grafik perbandingan antara faktor kedalaman dan kedalaman tanah.



Gambar 4. Grafik Faktor Keamanan (SF) Titik 1

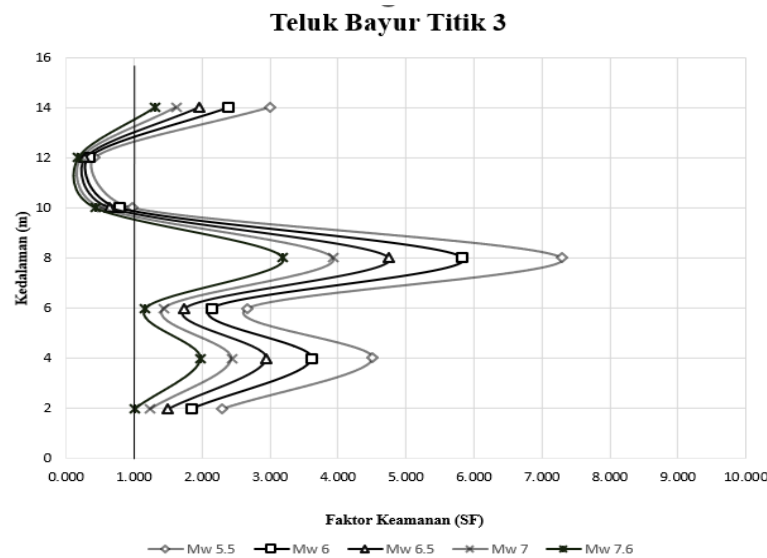
Gambar 4 diatas merupakan grafik yang menunjukkan potensi likuifaksi di titik 1. Berdasarkan hasil perhitungan potensi likuifaksi terjadi pada kedalaman 2 meter, 6 meter, 10 meter. Pada kedalaman 2 meter likuifaksi terjadi dengan gempa bermagnitudo 7,6 SR dimana jenis tanah merupakan timbunan batu. Pada kedalaman 6 meter likuifaksi terjadi dengan gempa bermagnitudo 5,5 SR, 6 SR, 6,5 SR, 7 SR, 7,6 SR dimana jenis tanah merupakan tanah lempung karang. Sama halnya dengan kedalaman 6 meter, pada kedalaman 10 meter terjadi likuifaksi dengan gempa bermagnitudo 5,5 SR 6 SR 6,5 SR 7 SR 7,6 SR dimana jenis tanah pada kedalaman tersebut merupakan tanah pasir. Pada kedalaman 4 meter, 8 meter, 12 meter, dan 14 meter tidak terjadi likuifaksi dengan jenis tanah lempung karang dan pasir.



Gambar 5. Grafik Faktor Keamanan (SF) Titik 3

Gambar 5 diatas merupakan grafik yang menunjukkan potensi likuifaksi di titik 2. Berdasarkan hasil perhitungan potensi likuifaksi terjadi pada kedalaman 8 meter dan 12 meter. Pada kedalaman 8 meter likuifaksi terjadi dengan gempa bermagnitudo 6 SR, 6,5 SR, 7 SR, 7,6 SR dimana jenis tanah merupakan lanau karang. Pada kedalaman 12 meter likuifaksi terjadi dengan gempa bermagnitudo 6 SR, 6,5 SR, 7 SR, 7,6 SR dimana jenis tanah merupakan tanah lanau karang. Pada kedalaman 2 meter, 4 meter, 6 meter, 10 meter, dan 14 meter tidak terjadi likuifaksi dikarenakan jenis lapisan tanah yang berbeda. Di kedalaman 2 meter merupakan tanah timbunan

batu, sedangkan pada kedalaman 4 meter - 6 meter merupakan tanah pasir lempung, di kedalaman 10 meter merupakan tanah lanau karang, dan di kedalaman 14 meter merupakan tanah pasir.



Gambar 6. Grafik Faktor Keamanan (SF) Titik 3

Gambar 6 diatas merupakan grafik yang menunjukkan potensi likuifaksi di titik 3. Berdasarkan hasil perhitungan potensi likuifaksi terjadi pada kedalaman 2 meter, 10 meter dan 12 meter. Pada kedalaman 2 meter likuifaksi terjadi dengan gempa bermagnitudo 7,6 SR dimana jenis tanah merupakan tanah timbunan. Pada kedalaman 10 meter likuifaksi terjadi dengan gempa bermagnitudo 6,5 SR, 7 SR, 7,6 SR dimana jenis tanah merupakan tanah pasir. Pada kedalaman 12 meter terjadi likuifaksi dengan gempa bermagnitudo 5,5 SR, 6 SR, 6,5 SR, 7 SR, 7,6 SR dimana jenis tanah merupakan tanah pasir.

Dibawah ini merupakan hasil perhitungan dari nilai probabilitas dengan menggunakan persamaan probabilitas dari Liquefaction Severity Index LSI di ketiga titik di teluk bayur dimana pada tabel 4 merupakan nilai frekuensi pada titik 1 Teluk Bayur, pada tabel 5 merupakan nilai frekuensi pada titik 2 teluk bayur, dan pada tabel 6 merupakan nilai frekuensi pada titik 3 teluk bayur.

Tabel 4. Nilai Probabilitas (Frekuensi) Pada titik 1

h(m)	Faktor keamanan (SF)					FREKUENSI				
	Mw 5.5	Mw 6	Mw 6.5	Mw 7	Mw 7.6	Mw 5.5	Mw 6	Mw 6.5	Mw 7	Mw 7.6
2	1.98	1.58	1.29	1.07	0.86	0.0000	0.0000	0.2104	0.3850	0.6171
4	4.04	3.23	2.63	2.18	1.76	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	0.94	0.75	0.61	0.51	0.41	0.5220	0.7485	0.8821	0.9462	0.9784
8	4.19	3.36	2.73	2.26	1.83	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.30	0.24	0.20	0.16	0.13	0.9945	0.9980	0.9992	0.9997	0.9999
12	19.82	15.86	12.92	10.69	8.66	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
14	3.00	2.40	1.96	1.62	1.31	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1972

Tabel 5. Nilai Probabilitas (Frekuensi) Pada titik 2

h(m)	Faktor keamanan (SF)					FREKUENSI				
	Mw 5.5	Mw 6	Mw 6.5	Mw 7	Mw 7.6	Mw 5.5	Mw 6	Mw 6.5	Mw 7	Mw 7.6
2	4.568	3.656	2.978	2.464	1.997	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	2.399	1.920	1.564	1.294	1.049	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	4.001	3.202	2.609	2.158	1.749	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.999	0.799	0.651	0.539	0.437	0.4555	0.695	0.851	0.9308	0.9720
10	3.593	2.875	2.343	1.938	1.571	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.844	0.676	0.550	0.455	0.369	0.6407	0.829	0.924	0.9663	0.9866
14	2.961	2.370	1.931	1.597	1.294	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabel 6. Nilai Probabilitas (Frekuensi) Pada titik 3

h(m)	FS					FREKUENSI				
	Mw 5.5	Mw 6	Mw 6.5	Mw 7	Mw 7.6	Mw 5.5	Mw 6	Mw 6.5	Mw 7	Mw 7.6
2	2.30	1.84	1.50	1.24	1.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	4.51	3.61	2.94	2.43	1.97	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	2.67	2.13	1.74	1.44	1.17	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	7.3	5.8	4.8	3.93	3.19	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.98	0.78	0.64	0.53	0.43	0.4820	0.7171	0.8644	0.9374	0.9747
12	0.41	0.33	0.27	0.22	0.18	0.9776	0.9916	0.9967	0.9986	0.9994
14	2.99	2.39	1.95	1.61	1.31	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1993

Dari hasil perhitungan diatas pada tabel 4, tabel 5 dan tabel 6, maka didapatkan nilai probabilitas atau frekuensi untuk kawasan Teluk Bayur didominasi dengan rentan kategori nilai frekuensi $0,35 \leq PL \leq 0,65$ dengan deskripsi “Mungkin”. Dan rentan kategori nilai frekuensi $0,85 \leq PL \leq 1$ dengan deskripsi “Tinggi”.

Tabel 7. Nilai LPI (Konsekuensi) Pada titik 1

h(m)	Ketebalan (m)	F (i)								LPI				
		Zi(m)	Hi(m)	W(i)	Mw	Mw	Mw	Mw	Mw	Mw	Mw 6	Mw	Mw 7	Mw
					5.5	6	6.5	7	7.6			5.5		6.5
2	2	1	2	9.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.000	0.000	0.000	0.000	2.595
4	2	3	2	8.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	2	5	2	7.5	0.06	0.25	0.39	0.49	0.59	0.879	3.699	5.793	7.384	8.828
8	2	7	2	6.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	2	9	2	5.5	0.70	0.76	0.80	0.84	0.87	7.667	8.333	8.827	9.202	9.543
12	2	11	2	4.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	2	13	2	3.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 7 titik 1 penelitian, diperoleh nilai *Liquefaction Potential Index* (LPI) pada kedalaman 6 meter dan 10 meter dengan gempa 5,5 SR 6 SR 6,5 SR 7 SR 7,6 SR didominasi dengan rentan $5 < LPI < 15$ dengan deskripsi “Tinggi”.

Tabel 8. Nilai LPI (Konsekuensi) Pada titik 2

h(m)	Ketebalan (m)	F (i)								LPI				
		Zi(m)	Hi(m)	W(i)	Mw	Mw	Mw	Mw	Mw	Mw	Mw	Mw	Mw	Mw
					5.5	6	6.5	7	7.6					
2	2	1	2	9.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	2	3	2	8.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	2	5	2	7.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	2	7	2	6.5	0.001	0.201	0.349	0.461	0.563	0.015	2.608	4.533	5.996	7.324
10	2	9	2	5.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	2	11	2	4.5	0.156	0.324	0.450	0.545	0.631	1.402	2.919	4.046	4.902	5.679
14	2	13	2	3.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 8 titik 2 penelitian, diperoleh nilai *Liquefaction Potential Index* (LPI) pada kedalaman 8 meter dan 12 meter dengan gempa 5,5 SR 6 SR 6,5 SR 7 SR 7,6 SR didominasi dengan rentan $2 < \text{LPI} < 5$ dengan deskripsi “Sedang”.

Tabel 9. Nilai LPI (Konsekuensi) Pada titik 3

h(m)	Ketebalan (m)	Zi(m)	Hi(m)	W(i)	F (i)					LPI				
					Mw5.5	Mw6	Mw6.5	Mw7	Mw7.6	Mw5.5	Mw6	Mw6.5	Mw7	Mw7.6
2	2	1	2	9.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	2	3	2	8.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	2	5	2	7.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	2	7	2	6.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	2	9	2	5.5	0.025	0.219	0.364	0.474	0.574	0.270	2.412	4.003	5.212	6.309
12	2	11	2	4.5	0.585	0.668	0.729	0.776	0.819	5.266	6.011	6.565	6.986	7.368
14	2	13	2	3.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 9 titik 3 penelitian, diperoleh nilai *Liquefaction Potential Index* (LPI) pada kedalaman 10 meter dan 12 meter dengan 5,5 SR 6 SR 6,5 SR 7 SR 7,6 SR dengan rentan $0 < \text{LPI} < 2$ deskripsi “Rendah” dan rentan $5 < \text{LPI} < 15$ dengan deskripsi “Tinggi”.

Berdasarkan hasil perhitungan tingkat resiko likuifaksi di kawasan Teluk Bayur, likuifaksi di kawasan Teluk Bayur dengan tingkat Resiko “Rendah” sebanyak 4 titik dengan magnitude gempa 5,5 SR. tingkat resiko “sedang” diperoleh 9 titik dengan magnitude gempa 6 SR, 6,5 SR, 7 SR, 7,6 SR. Selanjutnya tingkat resiko “Tinggi” diperoleh 18 titik dengan magnitude gempa 5,5 SR, 6 SR, 6,5 SR, 7 SR, 7,6 SR.

KESIMPULAN

Berdasarkan data *Standard Penetration Test* (SPT) dan hasil analisa perhitungan likuifaksi di kawasan Teluk Bayur. Penulis dapat menyimpulkan bahwa :

1. Klasifikasi tanah pada daerah tersebut berbeda-beda di setiap lapisan kedalaman. Secara umum pada daerah tersebut didominasi oleh jenis tanah berpasir.
2. Melihat dari hasil perhitungan potensi likuifaksi kedalaman 2 meter – 10 meter pada daerah tersebut, didapatkan nilai faktor keamanan (SF) < 1 dengan potensi likuifaksi tinggi.
3. Tingkat resiko yang terjadi akibat likuifaksi di daerah Teluk Bayur secara umum yaitu didominasi dengan kategori level resiko tinggi tergantung pada tingkatan magnitude gempa yang terjadi.
4. Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, diketahui upaya mitigasi bencana likuifaksi yang di sarankan yaitu, metode *stone coloumn*, yakni metode mengisi dan mencampurkan kerikil maupun kerakal ke dalam kolom tanah guna meningkatkan kekuatan tanah. Selanjutnya metode *deep soil mixing*, yakni memperbaiki kondisi fisis tanah dilapangan langsung dengan mencampurkan atau menginjeksi serbuk kering dari bahan semen dan lain-lain. Kemudian metode perbaikan yang dapat dilakukan adalah metode pemadatan dengan alat penggetar *vibro compaction*, metode ini efektif digunakan untuk tanah yang dominan pasir atau berbutir kasar.

DAFTAR PUSTAKA

- Seed, H. B. & Idriss, I. M, 1982. *Ground Motions And Soil Liquefaction During Earthquakes*.
Seed, H. a. I. I., 1971. *Simplified procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential*. s.l.:J of Soil Mech and Foundation Div, ASCE, 97 (SM9), pp. 1249-1273.

- Darma, M. Agung. 2023. *Evaluasi Likuifaksi Di Kota Padang Berdasarkan Data Investigasi Tanah Dan Hubungannya Dengan Frekuensi Tanah*. Padang: Respository UNP
- Hakam, A. 2012. *Soil Liquefaction in Padang due to Padang Earthquake 30 September 2009. Civil Engineering Dimension*, 64-68.
- Hardiyatmo, H. C. 2002. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Tohari, A. 2018. *Mikrozonasi Seismik Wilayah Kota Padang Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor. Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, Vol 28, No 2, 205-220.
- Sawe, H.B. 2019, 18 September. WorldAtlas: <http://www.Worldatlas.com/articles/which-countris-have-the-most-volcanoes.html>.
- Pawirodikromo, W. 2012. *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Aziz, N. (2000). *Geologi Fisik Bandung*: ITB Press.
- Anidhea, No. 2021. *Identifikasi Karakteristik Struktur Tanah Dan Upaya Mitigasi Bencana Likuifaksi Di Sulawesi Tengah*. SNF.
- P, Sudarno Tampubolon. 2022. *Analisis Kerusakan Struktur Bangunan Dan Manajemen Bencana Akibat Gempa Bumi, Stunami Dan Likuifaksi Di Palu*. Vol, 10 No. 2.
- Manoel, David Mangonpraja. 2019. *Analisis Perbaikan Tanah Sebagai Bentuk Mitigasi Bencana Likuifaksi Yang Dapat Di Aplikasikan Masyarakat Di Palu*. Vol, 2 No. 2.
- Yudi, Ahmad. 2019. *Mitigasi Bencana Menggunakan Peta Faktor Keamanan Likuifaksi Berdasarkan Cone Penetration Test (Studi Khusus ITERA)*. Volume, 13. No. 3.