

ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA CONE PENETRATION TEST (STUDI KASUS BELAWAN, MEDAN)

SITI NUR INDAH SARI*, RAJINDA SYADZALI BINTANG

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Sumatera Selatan.

**Corresponding Author : ✉ siti.nur.indah.sari@polsri.ac.id*

Naskah diterima : 07 November 2023. Disetujui: 27 Desember 2023. Diterbitkan : 30 Desember 2023

ABSTRAK

Salah satu dampak dari terjadinya gempa bumi, adalah likuifaksi. Jika gempa bumi dengan magnitude yang besar terjadi pada suatu wilayah, dapat menghancurkan infrastruktur sarana dan prasarana, maka tidak menutup kemungkinan dampak selanjutnya adalah terjadinya likuifaksi. Apalagi bangunan-bangunan yang terletak tidak jauh dari pantai, karena karakteristik tanahnya berpasir yang memiliki sudut geser yang tinggi seperti pada daerah Belawan Kota Medan. Dan dari analisis potensi likuifaksi berdasarkan data CPT (*Cone Penetration Test*), serta dengan perhitungan dan analisa data fisik tanah, magnitude gempa serta beban siklik CSR dan CRR pada enam titik pengeboran yang dilakukan pada daerah tersebut, didapatkan bahwasanya tanah yang berada dilokasi mengalami potensi likuifaksi karena factor keamanan < 1 . Dimana dipengaruhi oleh nilai CSR (cyclic stress ratio) dan nilai CRR (cyclic resistance ratio) yang bernilai sangat kecil, serta asumsi percepatan gempa adalah 7,5 SR dengan nilai amax adalah 196,94 gal.

Kata kunci : likuifaksi, qc, CSR, CRR, faktor keamanan

1. PENDAHULUAN

Likuifaksi adalah perubahan sifat tanah dari padat menjadi cair akibat beban siklik yang diterima tanah yang mengakibatkan tanah tidak bisa menahan beban, baik itu beban dari berat sendiri tanah, maupun beban dari berat struktur diatas tanah tersebut. Beban siklik biasanya berupa getaran yang berasal dari gempa bumi dengan skala yang tinggi. Sedangkan Indonesia merupakan negara yang sering mengalami gempa bumi, karena terletak pada kawasan "Cincin Api Pasifik" atau "*Ring of Fire*" (Pratama dkk, 2014). Istilah ini ditujukan untuk wilayah yang sering mengalami letusan gunung berapi aktif dan gempa bumi. Dan pulau Sumatera merupakan salah satunya, dengan intensitas kekuatan gempa yang besar yang berasal dari pergeseran sesar Semangko sepanjang Bukit Barisan (Tanjung, 2023). Akibat dari gempa bumi ini, salah satunya adalah likuifaksi. Likuifaksi di

tandai dengan adanya rembesan air yang keluar pada rekahan tanah pada saat terjadi gempa bumi, rembesan air ini yang nantinya akan mengisi pori-pori tanah dan naik mencapai permukaan sehingga tanah kehilangan daya dukungnya akibatnya beberapa bangunan tenggelam dan miring akibat pergerakan horizontal dalam skala besar serta adanya semburan pasir di permukaan tanah. (Hakam, 2009; Hakam, 2013; Warman, 2013).

Dalam sejarah, likuifaksi yang pertama kali terjadi adalah di Alaska, diikuti dengan daerah Niagata, Jepang pada tahun 1964 (Kramer, 1996). Sedangkan di Indonesia gempa bumi yang menyebabkan likuifaksi terjadi di desa Balaroa dan Petobo Kota Palu, Sulawesi Tengah pada tanggal 28 September 2018. Dampak yang ditimbulkan oleh likuifaksi di Palu, menyebabkan banyak sekali rumah dan infrastruktur yang hancur dan tertimbun, dan korban jiwa yang diakibatkan dari bencana tersebut. Kerugian yang terjadi baik itu dari korban jiwa maupun dari infrastruktur bangunan sipil, tidak bisa dibilang sedikit, dan dana yang harus dikeluarkan untuk memperbaiki sarana dan prasarana akibat dari likuifaksi yang terjadi terbilang sangat banyak sekali.

Sudah banyak pengujian untuk menganalisis potensi terjadinya likuifaksi, baik itu pengujian di lapangan maupun di laboratorium. Hakam dkk (2009) menentukan potensi likuifaksi menggunakan data pengujian sondir (Cone Penetration Test), dengan menggunakan metode perhitungan Seed dan Idriss. Untuk daerah kota Padang khususnya di Gor Haji Agus Salim dan Lapai memiliki potensi likuifaksi yang besar karena memiliki *safety factor* atau *factor* keamanan yang kecil dari yang angka keamanan yang ditentukan.

Mase (2018) menentukan potensi likuifaksi menggunakan data N-SPT (Standart Penetration Test), dan metode perhitungan yang digunakan adalah metode Idriss dan Boulanger, semakin besar percepatan maksimum gempa yang diterapkan, maka waktu dimulainya likuifaksi semakin cepat, dan waktu terdispasinya tegangan air pori akan semakin lambat.

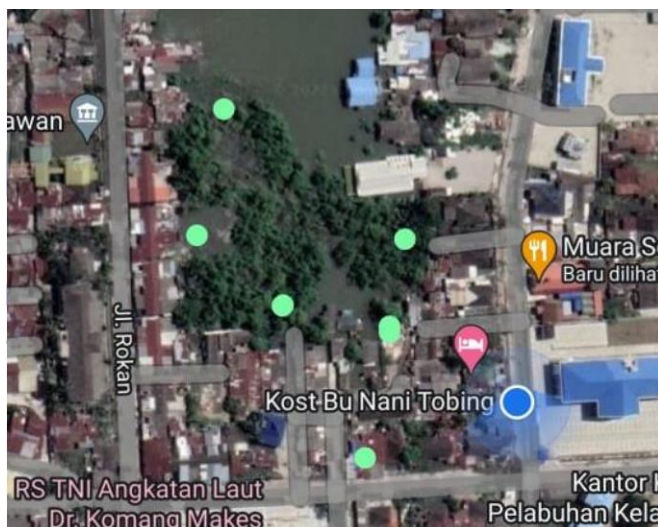
Muri dkk (2011), beban yang memiliki nilai variasi yang tinggi akan mendapatkan waktu penurunan yang sangat lama (kenaikan air pori yang sangat rendah) dibandingkan dengan variasi beban ringan, hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh luasan dipermukaan tanah sehingga air susah mencari celah untuk keluar. Dan juga semakin besar variasi beban yang diberikan akan mengakibatkan penurunan maksimum semakin tinggi.

Dari beberapa penelitian analisis potensi likuifaksi, baik itu menggunakan variasi beban (tegangan vertikal efektif), data pengujian lapangan CPT (*Cone Penetration Test*), maupun data pengujian N-SPT untuk mengetahui potensi terjadinya likuifaksi, sehingga bahaya dan dampaknya dapat diminimalisir. Belawan merupakan sebuah kota pelabuhan yang terletak di pesisir pantai yang padat penduduk. Banyak kapal yang melintas maupun bersandar di dermaga sepanjang pantai di kota Belawan ini, dan hampir semua aktivitas penduduknya dilakukan di sepanjang pesisir pantai serta bangunan infrastruktur seperti sekolah, rumah sakit, perumahan penduduk, tempat ibadah berada tidak jauh dari pantai. Karena kota ini berada di pesisir pantai, maka tidak menutup kemungkinan terjadinya likuifaksi di daerah ini, akibat getaran yang diakibatkan oleh gempa bumi. Untuk itu pada penelitian ini, penulis ingin menganalisis potensi terjadinya likuifaksi di Kota Belawan, Medan, melalui pengujian CPT (*Cone Penetration Test*) dengan analisis dari karakteristik jenis tanah serta beban siklik rencana yang dapat dihitung, sehingga dapat mengetahui potensi terjadinya likuifaksi pada daerah yang diteliti. Dari penelitian ini diharapkan mitigasi bencana pada daerah-daerah rawan gempa bumi dan likuifaksi dapat diminimalisir supaya kejadian di Palu tidak terulang kembali.

2. METODA PENELITIAN

2.1. INVESTIGASI LAPANGAN

Penelitian ini berlokasi di Jalan Bengkalis, Kota Belawan Medan, Sumatera Utara. Metode pelaksanaan penyelidikan tanah yang dilaksanakan mengacu pada standard pengujian American Society for Testing Material (ASTM D-3441) dan Standard Nasional Indonesia (SNI-2827). Pengujian CPT (Cone Penetration Test) ini dilakukan sebanyak 6 titik dengan masing-masing kedalaman mencapai 20 m, seperti pada **Gambar 1**. Dengan kadar muka air tanah (MAT) berkisar antara 10-20 cm.

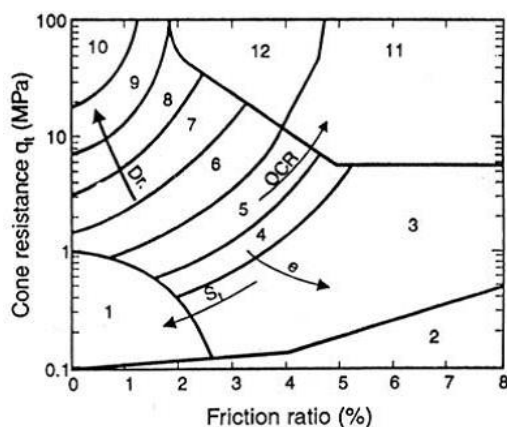


Gambar 1. Lokasi Pengujian CPT

2.1. PERHITUNGAN POTENSI LIKUIFAKSI

a. Indeks Propertis Tanah

Menentukan karakteristik dan jenis tanah melalui data CPT / sondir yang didapatkan pada masing-masing titik bor pengujian, menggunakan grafik zona estimasi tanah **Gambar 2** dan **Tabel 1**.



Gambar 2. Grafik Karakteristik Tanah (Robertson et al, 1986)

Tabel 1. Zona Tipe Tanah Qt - FR (Robertson Et Al, 1986)

Zone	Soil Behavior Test
1	Sensitive Fine Grained
2	Organic Material
3	Clay
4	Silty Clay to Clay
5	Clayey silt to silty clay
6	Sandy Silt to Clayey Silt
7	Silty Sand to Sandy Silt
8	Sand to Silty Sand
9	Sand
10	Gravelly Sand
11	Very Stiff Fine Grained
12	Sand to Clayey Sand

b. Mengestimasi Berat Volume Tanah

Estimasi berat volume tanah didapatkan dari **Tabel 2**, dimana didapat dari zona tipe tanah yang sudah ditentukan sebelumnya dari grafik dan tabel diatas.

Tabel 2. Estimasi Berat Volume Tanah (Robertson et al, 1986)'

The Estimation of Unit Weight Based Soil Description	
Zona	Approximate of Unit Weight (kg/cm ³)
1	0,00175
2	0,00125
3	0,00175
4	0.00180
5	0.00180
6	0.00180
7	0,00185
8	0,00190
9	0,00195
10	0,00200
11	0,00250
12	0,00190

c. Menentukan Tegangan Over Burden Tanah

Tegangan vertikal pada tanah dihitung dengan rumus:

$$\sigma_o = h \times \gamma$$

dimana:

σ_o = tegangan vertikal tanah(kg/m²)

h = kedalaman (m)

γ = berat volume tanah (kg/m³)

d. Menentukan Tegangan Vertikal Efektif Tanah

Tegangan vertikal efektif pada tanah dihitung dengan rumus:

$$\sigma\sigma' = \sigma\sigma - u = (h \times \gamma) - (hw \times \gamma_w)$$

dimana:

$\sigma\sigma'$ = tekanan vertikal efektif tanah (kg/m^2)

$\sigma\sigma$ = tekanan total pada tanah (kg/m^2)

u = tekanan air pori (kg/m^2)

h = kedalaman (m)

γ = berat volume tanah (kg/m^3)

hw = kedalaman muka air tanah (m)

γ_w = berat volume air (kg/m^3)

e. Menentukan perlawanan konus terkoreksi ($qc1$)

$$qc1 = C1 \times qc = CN \text{ } qc \text{ (kg/cm}^2 \text{)}$$

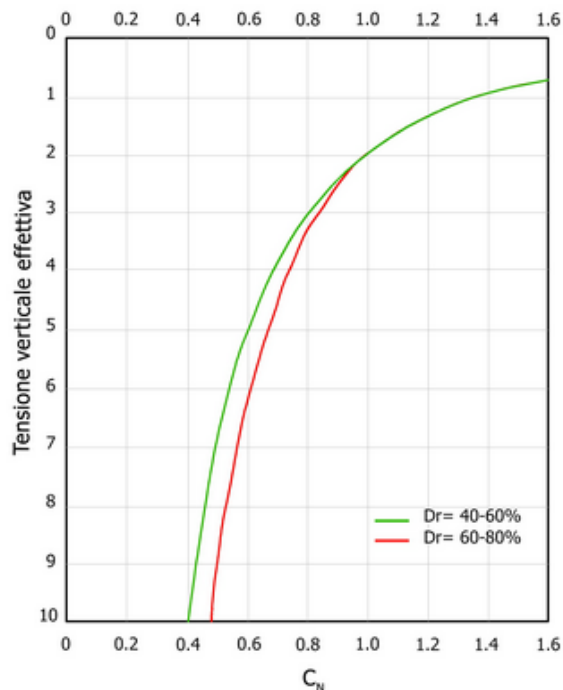
dimana :

$qc1$ = perlawanan konus terkoreksi

qc = perlawanan konus

CN = faktor koreksi

Untuk faktor koreksi ditentukan hubungan antara tengangan efektif tanah dan CN pada **Gambar 3**. Untuk menentukan factor koreksi atau nilai CN, dapat dilihat menggunakan estimasi dari grafik tegangan vertikal efektif tanah dengan nilai derajat kepadatan tanah (Dr %) Seed and Idris (1971).



Gambar 3. Grafik Hubungan $\Sigma'o$ Dengan Dr % Seed And Idris (1971)

f. Menentukan Magnitude dan Percepatan Tanah Maksimum (a_{max})

Magnitude gempa dan percepatan tanah maksimum digunakan dalam perhitungan cyclic stress ratio (CSR). Parameter ini diperoleh dari data gempa Medan, dengan asumsi kekuatan gempa adalah 7,5 SR dengan a_{max} sebesar 196,94 g. (Rahmadika, 2019).

g. Menentukan Faktor Reduksi Tegangan (r_d)

Koefisien reduksi tegangan (r_d) adalah koefisien pengurangan tegangan yang bergantung pada kedalaman (z) dan dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini (Liao dan Whitman, 1986; Robertson dan Wride, 1997):

$$r_d = 1,0 - 0,00765 \times z \rightarrow z \leq 9,15 \text{ m}$$

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

$$r_d = 0,744 - 0,0008 \times z \rightarrow 23 \text{ m} < z < 30 \text{ m}$$

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

h. Menghitung Nilai Cyclic Stress Ratio (CSR)

Formulasi untuk menghitung nilai CSR adalah:

$$CSR = 0,65 \times \left(\frac{a_{max} \times \sigma_0}{g \times \sigma'_o} \right) \times r_d$$

i. Menghitung Nilai Cyclic Resistance Ratio (CRR)

Untuk mengetahui potensi likuifaksi, maka perlu dilakukan perhitungan nilai CRR yang dapat dihasilkan dengan menggunakan prosedur Robertson dan Wride (1998) dibawah ini.

$$\text{Jika nilai } (q_{c1}) < 50, \text{ maka } CRR^{7,5} = 0,833 \times (q_{c1} / 1000) + 0,05$$

$$\text{Jika nilai } 50 < (q_{c1}) < 160, \text{ maka } CRR^{7,5} = 93 \times (q_{c1} / 1000)^3 + 0,08$$

j. Safety Factor (SF)

Cara menentukan likuifaksi pada tanah yang diuji adalah dengan membandingkan nilai CRR dan nilai CSR, dan apabila nilai $SF < 1$, tanah tersebut mengalami likuifaksi, tetapi jika nilai $SF > 1$, maka tanah tidak mengalami likuifaksi.

$$SF = CRR/CSR$$

Dimana:

Jika $SF < 1$ = likuifaksi

Jika $SF > 1$ = aman/ tidak terlikuifaksi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

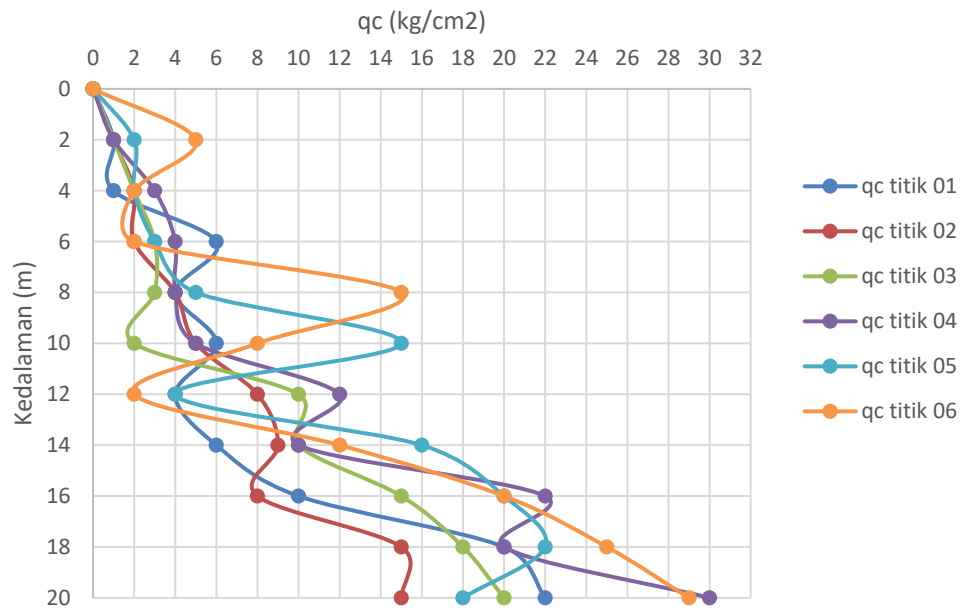
Dari data-data pengujian CPT (Cone Penetration Test) pada 6 titik bor dan didapatkan karakteristik serta jenis tanah yang dapat dilihat pada **Tabel 3** dibawah ini.

Tabel 3. Jenis Tanah Berdasarkan Zona Pada Pengujian CPT

Kedalaman (m)	Titik 01	Titik 02	Titik 03	Titik 04	Titik 05	Titik 06
0	-	-	-	-	-	-
2	Lempung	Lempung	Lempung	Lempung	Lempung	Lempung berpasir
4	Lempung	Lempung	Lempung	Lempung	Lempung	Lempung
6	Lanau berpasir	Lempung	Lempung	Lanau berlempung	Lempung	Lempung
8	Lempung berpasir	Lanau berlempung	Lempung berpasir	Lanau berlempung	Lempung berpasir	Pasir berlanau
10	Lanau berpasir	Lempung berpasir	Lempung	Lempung berpasir	Pasir terkonsolidasi	Lanau berpasir
12	Lempung berpasir	Lanau berpasir	Lanau berpasir	Pasir berlanau	Lanau berlempung	Lempung
14	Lanau berpasir	Pasir berlanau	Lanau berpasir	Lanau berpasir	Pasir berlanau	Pasir berlanau
16	Lanau berpasir	Lanau berpasir	Pasir berlanau	Pasir berlanau	Pasir berlanau	Pasir
18	Pasir	Pasir	Pasir	Pasir berlanau	Pasir berlanau	Pasir
20	Pasir	Pasir	Pasir	Pasir	Pasir berlanau	Pasir

Dari pengklasifikasian tanah pada 6 titik bor pengujian untuk kedalaman 0 – 6 m, jenis tanahnya adalah tanah lempung. Sedangkan rata-rata jenis tanah pada kedalaman 8 - 20 m didominasi oleh tanah lanau berpasir, lempung berpasir, dan pasir dimana jenis tanah ini sangat rentan terjadinya likuifaksi. Alasannya karena semakin besarnya pori-pori tanah pada karakteristik tanah berpasir, dan jika terjadi gempa bumi (beban siklik) yang besar, kemungkinan potensi terjadinya likuifaksi pada daerah tersebut tinggi. Jadi semakin dalam pengeboran tanah yang dilakukan, maka jenis tanah yang didapatkan akan memiliki butiran pasir yang melekat dan terkandung pada tanah tersebut. Hal ini diakibatkan oleh lokasi titik bor berdekatan dengan adanya anak sungai yang langsung terhubung ke laut, dan mempengaruhi jenis tanah yang berada pada lokasi titik pengeboran.

Pada **Gambar 4** nilai data q_c / penetrasi konus yang didapatkan pada masing-masing titik pengeboran sangat kecil. Kedalaman 0 – 10 m pada masing-masing titik pengeboran, rata-rata nilai q_c hanya 6 – 7 kg/cm², sedangkan pada kedalaman 12 – 20 m, nilai q_c berkisar antara 20 – 30 kg/cm². Hal ini dikarenakan karena tanah yang berada di sekitar lokasi titik pengeboran adalah tanah lunak.

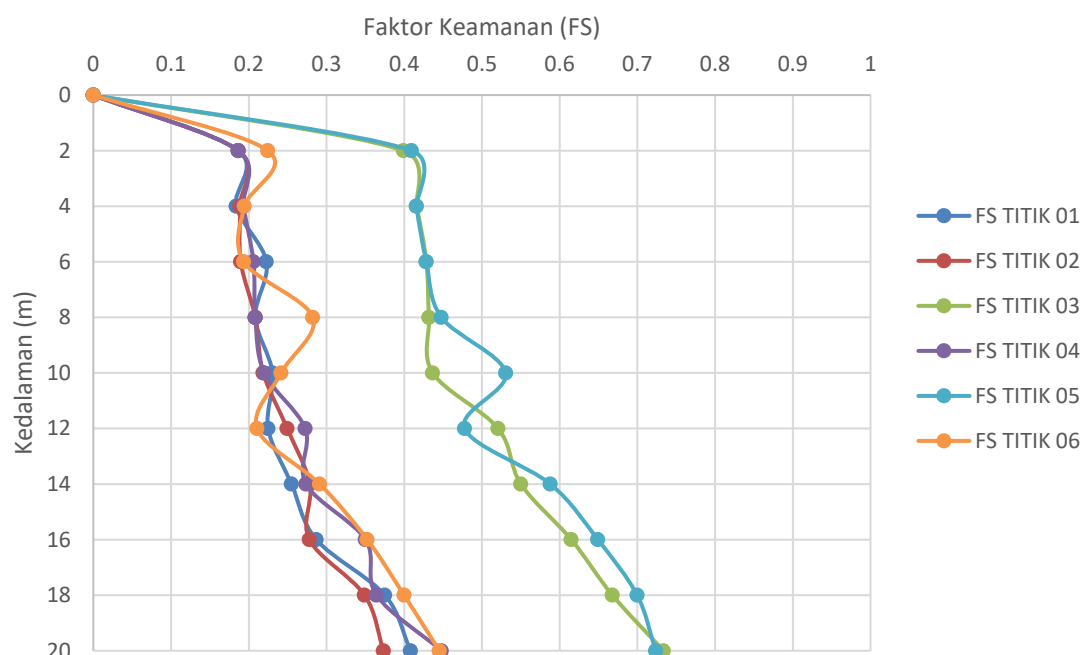


Gambar 4. Grafik Nilai Qc Pada Masing-Masing Titik Bor

Tabel 4. Nilai CRR dan CSR dari Titik Pengujian Sondir

	Titik 01		Titik 02		Titik 03		Titik 04		Titik 05		Titik 06	
Depth (m)	CRR	CSR	CRR	CSR	CRR	CSR	CRR	CSR	CRR	CSR	CRR	CSR
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,051	0,275	0,051	0,275	0,051	0,129	0,051	0,275	0,053	0,129	0,057	0,252
4	0,051	0,279	0,053	0,279	0,053	0,127	0,054	0,279	0,053	0,127	0,053	0,271
6	0,058	0,260	0,053	0,278	0,053	0,125	0,055	0,269	0,053	0,125	0,053	0,272
8	0,055	0,266	0,055	0,266	0,053	0,123	0,055	0,266	0,055	0,123	0,070	0,247
10	0,057	0,249	0,056	0,257	0,052	0,118	0,057	0,257	0,063	0,118	0,060	0,247
12	0,055	0,243	0,059	0,235	0,058	0,112	0,062	0,228	0,053	0,112	0,052	0,248
14	0,056	0,221	0,060	0,214	0,057	0,105	0,060	0,221	0,061	0,105	0,062	0,213
16	0,059	0,206	0,057	0,206	0,060	0,098	0,070	0,200	0,063	0,098	0,068	0,194
18	0,068	0,181	0,063	0,181	0,060	0,091	0,068	0,186	0,063	0,091	0,072	0,180
20	0,068	0,167	0,062	0,167	0,061	0,084	0,075	0,167	0,060	0,084	0,074	0,167

Dari perhitungan dan pengolahan data - data yang diperoleh, maka didapatkanlah nilai CRR dan nilai CSR pada masing-masing titik sondir pada **Tabel 4**. Nilai CSR yang didapatkan sangat kecil, akibat dari nilai tegangan efektif tanah yang juga kecil, sehingga nantinya akan mempengaruhi nilai dari faktor keamanan (SF) penyebab terjadinya likuifaksi.



Gambar 5. Grafik Faktor Keamanan terjadinya Likuifaksi pada Tanah

Dari **Gambar 5** di atas, Titik 01, 02, 04 dan 06 memiliki nilai faktor keamanan rata-rata berada di 0,2 – 0,4, sedangkan Titik 03 dan 05, faktor keamanan berada pada angka 0,4 – 0,7 yang lebih besar dari nilai faktor keamanan pada 4 titik sebelumnya. Akan tetapi dari semua titik bor CPT (*Cone Penetration Test*) dapat dilihat bahwasanya tanah yang berada di Belawan Kota Medan, memiliki potensi terlikuifaksi semuanya. Hal diketahui dari faktor keamanan dari tanah di enam titik bor pengujian memiliki nilai kecil dari 1. Dimana bahwasanya jika faktor keamanan (SF) < 1, maka tanah berpotensi terjadinya likuifaksi.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini, tanah yang berlokasi di Kota Belawan, Medan Sumatera Utara, memiliki potensi terjadinya likuifaksi. Hal ini diketahui dari faktor keamanan dimana nilai CRR/CSR < 1. Salah satu faktor yang mempengaruhi terjadinya likuifaksi pada daerah ini adalah jenis tanah yang berpasir dan lunak yang dapat dilihat dari nilai penetrasi konus yang sangat kecil.

Mitigasi bencana supaya likuifaksi tidak terjadi adalah dengan memperbaiki struktur tanah dasarnya terlebih dahulu, karena karakteristik tanah didaerah ini lunak dan berpasir. Salah satu metode perbaikan tanahnya adalah dengan diberi dinding penahan tanah/ turap.

DAFTAR PUSTAKA

- Hakam, A., H. G. Putra, dan D. Lastaruna. 2009. Analisa Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Pengujian Sondir (Studi Kasus Gor Haji Agus Salim dan Lapai, Padang. Jurnal Rekayasa Sipil Unand.
- Hakam, A., H. Darjanto. 2013. Penelusuran Potensi Likuifaksi Pantai Padang Berdasarkan Gradasi Butiran dan Tahanan Penetrasi Standar . Jurnal Teknik Sipil Unand , Padang.
- Kramer, Steven.L.1996. Geotechnical and Earthquake Engineering. Prentice Hall. New Jersey, USA.

- Liao, S.S.C., Whitman, R.V. 1986. Catalogue of Liquefaction and Non-Liquefaction Occurrences during Earthquakes. Report, Department of Civil Engineering, MIT, Cambridge.
- Mase, L. Z. 2018. Studi Keandalan Metode Analisis Likuifaksi Menggunakan SPT Akibat Gempa 8,6 Mw, 12 September 2007 di Area Pesisir Kota Bengkulu . Jurnal Teknik Sipil ITB, Bandung.
- Muri, A. 2011. Variasi Beban dan Percepatan Getar untuk Potensi Likuifaksi pada Pasir dengan Uji Model Laboratorium. Universitas Riau, Pekanbaru.
- Pratama, F., A. S. Budi, dan Wibowo. 2014. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai dengan Analisis Time History pada Tinjauan Drift dan Displacement Menggunakan Software Etabs. Jurnal Online Matriks Teknik UNS.
- Rahmadika, A. 2019. Analisa Potensi Likuifaksi Di Kota Medan Berdasarkan Data Hasil CPT Dengan Metode Percepatan Gempa Donovan. Universitas Brawijaya, Malang.
- Robertson, P. K., Wride, C. E. 1997. Cyclic liquefaction and its evaluation based on SPT and CPT. Proc., NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, Tech. Rep. NCEER-97-0022. State University of New York at Buffalo, Buffalo.
- Robertson, P. K., Wride, C. E. 1998. Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, Ottawa.
- Robertson, P.K., Campanella, R.G., Gillespie, D., and Greig, J. 1986. Use of Piezometer Cone data. In-Situ'86 Use of In-situ testing in Geotechnical Engineering. Geotechnical Special Publications 6, ASCE.
- Seed, H.B., Idriss, I.M. 1971. Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division.
- Tanjung, Jafril., N. T. Putri. 2023. Identifikasi Penyebab Kerusakan Konstruksi Bangunan Beton Bertulang Pasca Bencana Gempa Bumi. Jurnal Bangunan Konstruksi dan Desain, Padang.
- Warman, H., D. Y. Jumas. 2013. Kajian Potensi Likuifaksi Pasca Gempa Dalam Rangka Mitigasi Bencana Di Padang. Jurnal Rekayasa Sipil, Padang.