



ANALISIS KERENTANAN LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA SPT KECAMATAN KOJA, JAKARTA UTARA

Aditya Maulana B.¹, A. Assegaf², Aditya U.³

^{1, 2,3}Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Kebumian & Energi, Usakti Gedung D, Lantai 2, Jl. Kyai Tapa No.1, Grogol, Jakarta 11440

^{a)}Email korespondensi: adityamb666@gmail.com

Abstrak. Keterdapatannya suatu segmen sesar memiliki kaitan dengan jumlah rekanan yang terbentuk pada zona sesar tersebut. Berdasarkan hal tersebut peneliti tertarik untuk mengetahui lebih lanjut hubungan dari intensitas kekar terhadap keberadaan struktur geologi. Daerah penelitian memiliki lokasi didaerah Cipanas, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. Daerah penelitian dipilih karena adanya interpretasi keberadaan struktur geologi berdasarkan peta geologi regional lembar leuwidamar. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan intensitas rekanan dengan kehadiran daripada struktur geologi yang berperan pada lokasi penelitian. Pengambilan data dilakukan dengan pemetaan geologi dan pengukuran kekar di lapangan dengan menggunakan metode scanline linear yang mana didukung dengan bantuan data intensitas kelurusan melalui citra satelit. Pengolahan data struktur geologi dibantu dengan metode stereografi untuk mengetahui jenis sesar yang berperan pada daerah penelitian. Dimana hubungan diketahui bahwa intensitas kekar yang banyak terdapat pada daerah sekitar segmen sesar. intensitas rekanan tertinggi terdapat di wilayah fault intersection.

Kata Kunci: Cyclic Stress Ratio (CSR), Cyclic Resistance Ratio (CRR), Faktor Keamanan (FK), Magnitude, dan Indeks Potensi Likuifaksi (LPI)

Abstract. Disasters that often occur in several regions in Indonesia are earthquakes. One of the consequences of earthquakes is liquefaction, which is a soil phenomenon that loses the strength of the layer due to vibration and water to the soil. Liquefaction events can cause subsidence, collapse in buildings, soil cracks, landslides, etc. The purpose of this study was to know the parameters that affect liquefaction vulnerability, knows Safety Factors (FS) based on calculation of Cyclic Stress Ratio (CSR) and Cyclic Resistance Ratio (CRR) used SPT data, knows the high-low potential for liquefaction based on LPI value, and knows vulnerability liquefaction on earthquake magnitude 5.5 to 7.5Mw in Koja, North. This study used the Youd and Idriss NCEER methods (1996,1998). Based on analysis on DB-3 on magnitude 5,5 hingga 7,5 Mw and maximum acceleration of 0.15, the result was Koja had potential for liquefaction with magnitude earthquake started at 6 to 7,5 Mw with LPI value 1,0 to 28,68 or low potential to very high potential.

Keyword: Cyclic Stress Ratio (CSR), Cyclic Resistance Ratio (CRR), Safety Factor (FK), Magnitude, and Liquefaction Potential Index (LPI)

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang secara geografis terletak pada pertemuan tiga lempeng utama tektonik dunia yang

mempengaruhi kondisi geologi di daratan Indonesia yaitu Lempeng Pasifik, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Australia. Dengan kondisi tersebut, Indoensia menjadi salah satu negara di dunia yang rawan bencana contohnya gempabumi. Salah satu akibat dari gempabumi adalah likuifaksi, yaitu fenomena tanah yang

kehilangan kekuatan lapisannya karena getaran dan air pada tanah. DKI Jakarta merupakan daerah dengan kondisi litologi berupa endapan Kuarter yang belum terjadi proses litifikasi dan juga kondisi muka airtanah yang relatif dangkal, sehingga hal ini perlu diwaspadai karena karakteristik tersebut memenuhi syarat untuk terjadinya likuifaksi.

DAERAH PENELITIAN

Daerah penelitian terletak di Kecamatan Koja, Jakarta Utara yang termasuk dalam peta geologi regional lembar Jakarta dan Kepulauan Seribu oleh Turkandi, dkk (1992) yang tersusun atas endapan Kuarter berupa Alluvium (Qa) yang terdiri dari lempung, lanau, pasir, kerikil, kerakal, dan bongkah serta Endapan Pematang Pantai (Qbr) yang terdiri dari pasir halus hingga kasar. Menurut Van Bemmelen (1949) dalam *The Geology of Indonesia* Fisiografi regional daerah penelitian termasuk ke dalam Zona Dataran Pantai Jakarta yang membentang dari Serang hingga Cirebon. Tektonik Jawa Barat Utara pada Zaman Tersier merupakan suatu cekungan belakang busur (*foreland basin*) dan busur magmatic (*magmatic arc*) di bagian selatan. Kemudian busur magmatik ini mengalami migrasi ke arah selatan hingga Kuarter (Asikin, 1974).

LANDASAN TEORI

Likuifaksi

Likuifaksi adalah fenomena pada masa tanah kehilangan sebagian besar tahanan geser akibat beban dinamik/siklik sehingga mengalir seperti cairan hingga tegangan geser yang bekerja di masa tanah tersebut sama rendahnya dengan tahanan geser yang berkurang (Sladen et al, 1985).

Muka Air Tanah

Muka airtanah atau yang biasa disebut ground water table adalah batas antara tanah jenuh air dengan tanah tak jenuh air. Tekanan pada muka air tanah sama dengan tekanan atmosfer. Pada kedalaman tertentu, air mengisi pori antar butir

sampai zona jenuh terbentuk. Di bawah muka air tanah, pada zona jenuh air, lapisan permeable yang menghasilkan airtanah disebut akuifer.

Standard Penetration Test (Spt)

SPT adalah suatu metode uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui, baik perlawanannya dinamik tanah maupun pengambilan contoh tidak terganggu (Undisturbed Sample, UDS) dengan teknik penumbukan. Uji SPT terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah, disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm vertikal. Dalam sistem beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg, yang dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m. Pada penggunaannya digunakan alat bernama Standard Split Barrel pemukulan pertama pada alat yang digunakan dipukul hingga kedalaman 15 cm kemudian pukulan kedua sedalam 30 cm dan pukulan ketiga sedalam 45cm dengan hasil berupa jumlah pukulan (N-SPT).

Analisis Likuifaksi Berdasarkan Data Spt

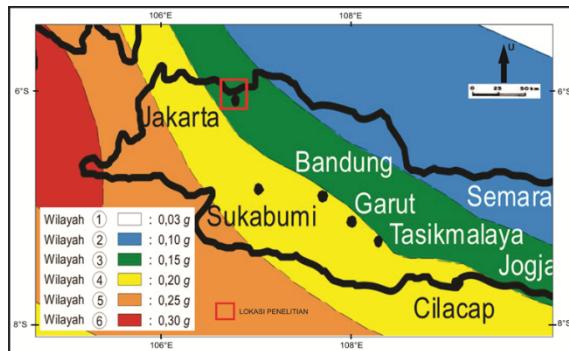
Perhitungan potensi likuifaksi diawali dengan menhitung nilai Cyclic Stress Ratio (CSR). CSR adalah sebuah variabel yang dipakai untuk menjelaskan gejala kegempaan yang terjadi pada lapisan tanah yang merupakan pembagian antara tegangan siklik yang terjadi akibat gempabumi (σ_v) dengan tegangan efektif pada tanah (σ'_v) berdasarkan persamaan Seed dan Idriss (1971):

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

Dimana:

- a_{\max} = percepatan tanah maksimum (gal)
 g = percepatan gravitasi (mm/s)
 σ'_v = tegangan vertical efektif tanah (kg/cm^2)
 σ_o = tegangan total vertical pada tanah (kg/cm^2)
 r_d = reduksi tegangan
Faktor 0.65 adalah asumsi bahwa tegangan geser seragam ekivalen adalah 65% dari tegangan geser maksimum absolut yang dihasilkan oleh gempa.

Percepatan tanah maksimum (a_{max}) dihitung menggunakan konversi dalam gal dari peta percepatan gempabumi Indonesia SNI 03-1726-2002 yang ditunjukan pada (Gambar 1.)



Gambar 1. Peta Percepatan Gempabumi SNI-1726-2002

Tegangan Total Pada Tanah (σ_0) merupakan tegangan pada suatu bidang di dalam massa tanah yang merupakan akibat berat tanah total yang termasuk ruang pori persatuan luas yang arahnya tegak lurus. Perhitungan menggunakan persamaan Seed dan Idriss (1971):

$$\sigma_0 = h \times \gamma \quad (2)$$

dimana :

σ_0 = Tegangan total vertikal (kg/cm^2)

h = Kedalaman (cm)

γ = Berat Volume Tanah (Kg/cm^3)

Tegangan efektif tanah (σ'_0) merupakan tegangan yang terjadi akibat berat tanah yang berhubungan dengan air dalam tanah, tegangan efektif tanah ini dihitung menggunakan persamaan Seed dan Idriss (1971):

$$\begin{aligned} \sigma'_0 &= \sigma_0 - u \\ &= (h \times \gamma) - (h_w \times \gamma_w) \end{aligned} \quad (3)$$

dimana:

σ'_0 = Tegangan vertical efektif tanah (kg/cm^2)

σ_0 = Tegangan total vertikal pada tanah (kg/cm^2)

u = Tekanan air pori (kg/cm^2)

h = Kedalaman (cm)

γ = Berat volume tanah (kg/cm^3)

h_w = Kedalaman muka air tanah (cm)

γ_w = Berat volume air 0.00098 (kg/cm^3)

Reduksi Tegangan (r_d) merupakan koefisien reduksi tegangan pada suatu kedalaman tertentu

yang digunakan untuk mengestimasi besarnya koefisien reduksi besaran CSR. r_d diartikan sebagai kelenturan profil tanah akibat gempa. Dalam penelitian ini rumus yang digunakan menurut Liao dan Whitman (1986):

$$r_d = 1,0 - 0,00765h \quad h \leq 9,15\text{m} \quad (4)$$

$$r_d = 1,174 - 0,00267h \quad 9,15\text{m} \leq h \leq 23\text{m}$$

$$r_d = 0,744 - 0,008h \quad 23\text{m} \leq h \leq 30\text{m}$$

$$r_d = 0,5 \quad h > 30$$

Perhitungan kedua untuk perhitungan evaluasi likuifaksi yaitu Cyclic Resistant Ratio (CRR) yang merupakan kemampuan tanah untuk dapat menahan perubahan terhadap kondisi liquid. Dalam melakukan perhitungan potensi likuifaksi dibutuhkan suatu variable yang diinterpretasikan dalam sebuah persamaan yang bisa untuk mendefinisikan kapasitas tanah sebagai tahanan untuk likuifaksi. Sesuai dengan rujukan oleh Youd dan Idriss (1996,1998) maka persamaannya :

$$\text{CRR} = \frac{1}{24 - (N_r)_{60} \text{CS}} + \frac{(N_r)_{60} \text{CS}}{125} + \frac{50}{[10 \times (N_r)_{60} \text{CS} + 45]^2} + \frac{1}{200} \quad (5)$$

$(N_r)_{60} \text{CS}$ merupakan koreksi jumlah pukulan terhadap FC (*fines content*) dari uji distribusi butiran (*grain size distribution*) dengan *Fines Sand* yang lolos saringan No. 200 dimana sebelumnya dilakukan perhitungan terlebih dahulu terhadap koreksi jumlah pukulan biasa ($(N_1)_{60}$) yang dirumuskan :

$$(N_1)_{60} = N \times \eta \times CN = N \times 60\% \times \frac{2.2}{1.2 + \frac{\sigma'_0}{Pa}} \quad (6)$$

dimana:

N : jumlah pukulan N-SPT

σ'_0 : Tegangan efektif tanah (kg/cm^2)

Pa : koreksi Satuan 10.1

untuk langkah selanjutnya $(N_1)_{60}$ diperhitungan terhadap FC dengan dikoreksi terhadap α dan β sesuai dengan kandungan butir halus nya. Pada akhirnya $(N_1)_{60}$ yang sudah dikoreksi terhadap FC akan menjadi $(N_1)_{60} \text{cs}$ yang dirumuskan dalam :

$$(N_1)_{60} \text{cs} = \alpha + \beta \times (N_1)_{60} \quad (7)$$

dimana:

$$\alpha = 0 \quad \text{untuk } \text{FC} < 5\%$$

$$\begin{aligned}\alpha &= e^{1.76 - \frac{190}{FC^2}} \quad \text{untuk } 5\% < FC < 35\% \\ \alpha &= 5 \quad \text{untuk } FC > 35\% \\ \beta &= 1 \quad \text{untuk } FC < 5\% \\ \beta &= 0.99 + \frac{FC^{1.5}}{1000} \quad \text{untuk } 5\% < FC < 35\% \\ \beta &= 1.2 \quad \text{untuk } FC > 35\%\end{aligned}$$

Faktor Keamanan (FK)

Faktor keamanan didapatkan dari hasil perbandingan antara nilai CRR dan CSR dengan memperhitungkan faktor koreksi terhadap besaran gempa berdasarkan persamaan menurut Seed dan Idriss (1982):

$$Fk = \frac{CRR}{CSR} \times MSF \quad (8)$$

dimana :

CSR : Cyclic Resistant Ratio

CSR : Cyclic Stress Ratio

MSF : Magnitude Scaling Factor

MSF merupakan faktor koreksi untuk hasil perbandingan CRR dan CSR yang pada masa 1970 metode yang digunakan memiliki keterbatasan dimana perhitungan FK hanya bisa dihitung pada gempa diatas magnitude 7,5 hingga Seed dan Idriss (1982) mencoba merumuskan persamaan untuk mengoreksi berbagai besaran gempa terhadap faktor keamanan yang dirumuskan dalam persamaan berikut:

$$MSF = 10^{2.24} \times Mw^{2.56} \quad (10)$$

Dimana :

Mw : Besaran gempa dalam momen magnitude

Jika Fk bernilai di bawah 1 maka dianggap tidak aman terhadap likuifaksi, Sedangkan jika Fk bernilai di atas 1 maka dianggap aman terhadap likuifaksi.

Indeks Potensi Likuifaksi (LPI)

Indeks potensi likuifaksi merujuk pada formula Iwasaki (1982) yang mengatakan bahwa likuifaksi akan terjadi hingga kedalaman kurang lebih 20 meter di bawah permukaan tanah. Indeks potensi likuifaksi merupakan penjumlahan dari fungsi faktor keamanan dan litologi yang

terlikuifaksi. Besaran potensi tersebut menggunakan klasifikasi Iwasaki (1982) seperti pada (tabel 1), dengan persamaan berikut:

$$LPI = \int_0^{20} F(z) \times W(z) \times dz \quad (11)$$

$F = 1-Fs$ jika $Fs < 1$

$F = 0$ jika $Fs > 1$

$$W(z) = 10 - 0,5 \times z$$

dimana :

Z : kedalaman dari titik tengah lapisan tanah (0 sampai 20 m)

D(z) : Diferensial dari Penambahan Kedalaman

w(z) : Faktor Beban

Tabel 1. Klasifikasi Iwasaki (1982)

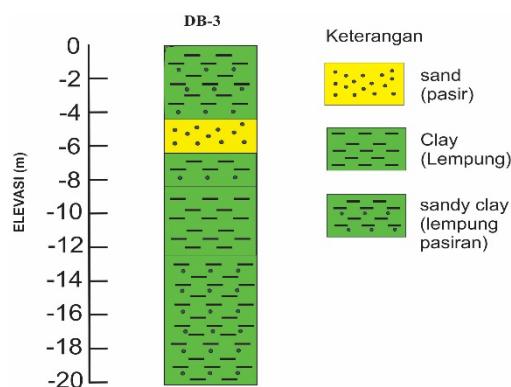
Klasifikasi Iwasaki (1982)	
LPI = 0	Sangat Rendah
LPI \leq 5	Rendah
5 \leq LPI \leq 15	Tinggi
LPI \geq 15	Sangat Tinggi

PEMBAHASAN

Hasil akhir penelitian ini dipengaruhi oleh ketersedian data yang lengkap. Semakin lengkap data yang didapatkan, maka hasil akhir akan lebih akurat. Data yang digunakan berupa data geologi, geomorfologi dan geologi teknik berupa *Rock Mass Rating* dan uji *direct shear*.

Geologi Daerah Penelitian

Dalam penyusunan stratigrafi ini menggunakan data Log Bor (DB-3) yang tersusun atas tiga jenis yaitu sandy clay (lempung pasiran), clay (lempung), dan sand (pasir) sedalam 20 meter di bawah permukaan tanah dengan elevasi < 1 m (Gambar 2).



Gambar 2. log bor DB-3 Koja, Jakarta Utara

Muka Air Tanah Daerah Penelitian

Muka airtanah pada daerah penelitian relatif dangkal. Pada daerah Jakarta Utara DB-3 yang terletak di daerah Koja memiliki muka airtanah yaitu 1,0 meter di bawah permukaan tanah dengan elevasi <1 m (Tabel 2).

Tabel 2. Muka Air Tanah

No	Lokasi (Kode Lokasi)	Elevasi (dml)	Kedalaman MAT (mts)
1	Kemudi Koja (DB 3)	0	1

Perhitungan CSR

Dalam perhitungan CSR, mulanya menentukan *layer* berdasarkan litologi dan nilai Spt setiap 200 cm (Tabel 3.). Kemudian memperhitungkan percepatan tanah maksimum (a_{max}) menggunakan satuan gal yang oleh karenanya nilai 0.15g harus dikonversi kedalam satuan gal. dengan perhitungan konversi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} a_{max} &= pga \times 100 \times g \\ &= 0.15 \times 100 \times 9.8 \text{ m/s} \\ &= 147 \text{ gal} \end{aligned}$$

Tabel 3. NSPT DB-3

DB-3 (GWL 1.0m)		
depth (cm)	Spt	soil type
250	4	sandy clay
450	3	sandy clay
650	4	sand
850	3	sandy clay
1050	5	Clay
1250	6	Clay
1450	9	sandy clay
1650	34	sandy clay
1850	60	sandy clay

Tabel 4. Perhitungan CSR pada DB-3

DB-3	kemudi koja, Jakarta Utara	N	Spt	Y (kg/cm³)	GWL (cm)	σ_0 (kg/cm²)	σ'_0 (kg/cm²)	rd	amax	CSR
250	4	0.0015	100	0.375	0.228	0.981	147	0.16		
450	3	0.0015	100	0.675	0.332	0.966	147	0.19		
650	4	0.0015	100	0.975	0.435	0.950	147	0.21		
850	3	0.0015	100	1.275	0.539	0.935	147	0.22		
1050	5	0.0016	100	1.68	0.748	0.894	147	0.20		
1250	6	0.0016	100	2	0.872	0.840	147	0.19		
1450	9	0.0017	100	2.465	1.141	0.787	147	0.17		
1650	34	0.002	100	3.3	1.779	0.733	147	0.13		
1850	60	0.002	100	3.7	1.983	0.680	147	0.12		

Perhitungan CRR

Perhitungan CRR (Tabel 5.) menunjukkan pada beberapa *layer* nilai CRR lebih kecil dibandingkan dengan nilai CSR pada perhitungan sebelumnya yang mengindikasikan *layer* tersebut memiliki tahanan tanah terhadap likuifaksi yang lebih kecil dibandingkan nilai regangan sikliknya, sehingga jika nilai CRR lebih kecil dibandingkan CSR maka *layer* tersebut akan menahan regangan yang lebih kuat.

Tabel 5. Perhitungan CRR DB-3

DB-3	kemudi koja, Jakarta Utara	N	Spt	σ'_0 (kg/cm²)	$(N_1)_{eo}$	$(N_1)_{eoCS}$	CRR
250	4	0.228	4.32	10.18	0.12		
450	3	0.332	3.21	8.85	0.11		
650	4	0.435	4.25	10.10	0.12		
850	3	0.539	3.16	8.79	0.11		
1050	5	0.748	5.18	11.22	0.13		
1250	6	0.872	6.16	12.39	0.14		
1450	9	1.141	9.05	15.86	0.18		
1650	34	1.779	32.61	44.13	0.23		
1850	60	1.983	56.72	73.06	0.52		

Perhitungan Faktor Keamanan Pada Gempa 5,5 – 7,5 Mw

Faktor keamanan merupakan perbandingan CRR terhadap CSR yang setiap kenaikannya gempa terdapat pertambahan layer yang mengalami penurunan FK hingga dianggap tidak aman (Tabel 6.). Nilai FK tersebut harus dikoreksi terlebih dahulu dengan perkalian MSF sebagai faktor koreksi terhadap besaran gempa bumi (Tabel 7.).

Tabel 6. FK pada kenaikan gempa 5,5-7,5Mw

gempa Mw 5.5	gempa Mw 6	gempa Mw 6.5	gempa Mw 7	gempa Mw 7.5
depth (cm)	fk	fk	fk	fk
250	1.74	1.39	1.14	0.94
450	1.30	1.04	0.85	0.70
650	1.31	1.05	0.86	0.71
850	1.15	0.92	0.75	0.62
1050	1.51	1.21	0.99	0.81
1250	1.69	1.36	1.11	0.92
1450	2.37	1.90	1.55	1.28
1650	3.87	3.10	2.53	2.09
1850	9.26	7.41	6.06	5.01

Tabel 7. MSF (Seed dan Idriss, 1982)

Magnitude (Mw)	MSF
	(seed & Idriss ,1982)
Mw 5.5	2.2
Mw 6	1.76
Mw 6.5	1.44
Mw 7	1.19
Mw 7.5	1

Berdasarkan perhitungan tersebut DB-3 mulai terdapat layer dengan $FK < 1$ yang mengindikasikan layer tersebut tidak aman terhadap likufaksi yaitu pada gempa 6Mw di kedalaman 8,5m dan seiring kenaikan gempa maka layer layer yang lain mulai ikut mengalami kerentanan hingga pada gempa 7,5Mw di kedalaman 2,5 – 12,5m (Bainal, 2019). beberapa parameter yang berperan dalam kenaikan FK adalah nilai N-SPT yang relatif kecil berkisar 3-6, muka air tanah yang dangkal, dan kenaikan besaran gempa bumi yang ikut berperan dalam penurunan nilai FK.

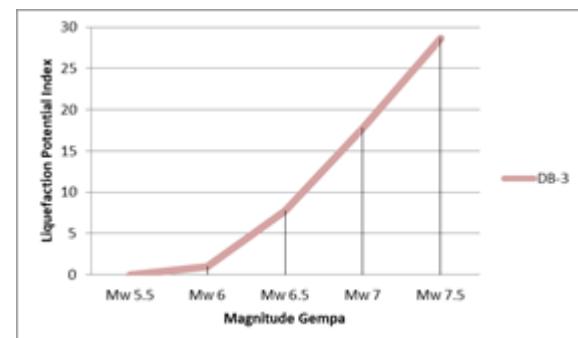
Liquefaction Potential Index (LPI)

Pada perhitungan LPI didapatkan nilai untuk menentukan rendah tingginya potensi likuifaksi berdasarkan perhitungan (Tabel 8.).

Tabel 8. Perhitungan LPI pada gempa 5,5-7,5

LIQUEFACTION POTENTIAL INDEX (Mw VS DB)					
	Mw 5.5	Mw 6	Mw 6.5	Mw 7	Mw 7.5
DB-3	0	1.00	7.73	17.81	28.68

Tinggi rendahnya potensi gempa bumi dilihat dari Klasifikasi Iwasaki (1982) Pada gempa magnitude 5,5Mw DB-3 tidak berpotensi likuifaksi dengan nilai LPI 0, pada gempa 6Mw berpotensi rendah dengan LPI 1, pada gempa 6,5Mw berpotensi tinggi dengan nilai LPI 7,73, dan pada gempa 7-7,5 Mw berpotensi sangat tinggi dengan nilai LPI 17,81 dan 28,68 (Bainal, 2019). Kenaikan nilai LPI terhadap besaran gempa dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Kenaikan LPI

Penambahan nilai LPI sangat dipengaruhi pada Faktor keamanan yang mana setiap penambahan magnitude gempa terdapat potensi likuifaksi pada layer yang semulanya aman dengan FK di bawah 1 menjadi tidak aman akibat kenaikan gempa. Hal tersebut berpengaruh pada perhitungan LPI karena LPI merupakan Integrasi dari penambahan jumlah potensi likuifaksi pada masing masing layer hingga sedalam 20m di bawah permukaan tanah.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari analisis kerentanan likuifaksi dapat ditarik kesimpulan bahwa

wilayah Koja Jakarta Utara tidak berpotensi likuifaksi pada gempa 5,5Mw dengan nilai LPI 0, pada gempa 6Mw berpotensi rendah dengan LPI 1, pada gempa 6,5Mw berpotensi tinggi dengan nilai LPI 7,73, dan pada gempa 7-7,5 Mw berpotensi sangat tinggi dengan nilai LPI 17,81 dan 28,68. Parameter yang berpengaruh terhadap kerentanan likuifaksi yaitu MAT yang dangkal, N-spt dengan nilai di bawah 5, dan besarnya gempabumi yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Assegaf, A. (2017): Heterogenitas Konsenterasi Khlorida (CL) Dalam Airtanah Daerah Muara Kamal-Marunda Dataran Pantai Utara DKI Jakarta, Log Bor SPT dan Uji laboratorium tanah, Jakarta Utara, Disertasi Doktor, Universitas Padjajaran, Bandung (Tidak Dipublikasi).
2. Asikin, S., (1974), Evolusi Geologi Jawa Tengah dan Sekitarnya Ditinjau dari Segi Teori Tektonik Dunia yang Baru, Disertasi Doktor, Departemen Teknik Geologi ITB, Tidak Dipublikasikan.
3. Bainal, Aditya M. 2019. Analisis Kerentanan Likuifaksi Berdasarkan Data SPT pada Wilayah DKI Jakarta (Studi Kasus : Kecamatan Koja, Jakarta Utara Dan Kecamatan Kebayoran Baru, Jakarta Selatan. Universitas Trisakti.
4. Bemmelen, R.W.Van. (1949): The Geology of Indonesia, Martinus Nyhoff, The Hague, Nederland.
5. BSN (2012), SNI 1726, 2012-Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, Jakarta
6. Iwasaki, T, (1982), Soil Liquefaction Studies in Japan : State of The Arts, Soil Dynamics & Earthquake Engineering, Vol. 5 No.1, Computational Mechanics Publications.
7. Seed, H.B. and Idriss, I.M., (1971). "Simplified Procedure for Evaluation Soil Liquification Potential", J. Geotech. Engrg. Div., ASCE, 97(9), 1249–1273.
8. Sladen, J. A., D'Hollander, R. D. & Krahn, J. (1985-a). The liquefaction of sands, a collapse surface approach. Can. Geotech. J.
9. Turkandi, T., Sidarto, D.A. Agustiyanto, dan M. Purbo Hadiwidjoyo. 1992. Peta Geologi Lembar Jakarta, dan Kepulauan Seribu, Jawa. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
10. Van Bemmelen, R.W., 1949, The Geology of Indonesia Vol. IA, Martinus Nijhoff : Belanda.
11. Youd T.L. dan Idriss, I.M., 1998. Cyclic liquefaction and its evaluation based on SPT and CPT. in Proceedings, NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils.