

Potensi Likuifaksi Pada Proyek Pengembangan Infrastruktur Jalan Di Bandara Kualanamu Berdasarkan SNI 1726 : 2019

Liquefaction Potential in the Road Infrastructure Development Project at Kualanamu Airport Based on SNI 1726 : 2019

Samuel Parlindungan Hutagaol^{1*}, Tika Ermita Wulandari^{2*}

^{1,2*} Prodi Teknik Sipil, Universitas Medan Area, Indonesia

*Corresponding author: E-mail: samuelsan706@gmail.com

Abstrak

Pakam adalah daerah yang berdekatan dengan belawan dan juga berada di pesisir pantai Sumatera Utara yang langsung berhadapan dengan Selat Malaka. Berdasarkan peta persebaran tanah, Pakam merupakan daerah dengan jenis tanah lanau, tanah organik, tanah gambut dan pasir. Karakteristik dari keempat tanah tersebut memiliki daya dukung tanah yang sangat rendah, karena mengandung banyak air. Namun pada daerah pesisir tersebut justru dibangun sebuah proyek pengembangan infrastruktur jalan di bandara kualanamu, mengubah perairan menjadi daratan untuk menggantikan bandara yang lama di area yang mengandung banyak airnya. Tujuan penelitian tersebut adalah untuk mengetahui apakah berpotensi terjadinya Likuifaksi pada proyek tersebut ketika terjadi gempa pada magnitudo 6.5 SR, 7.5 SR, dan 8.0 SR dan hal ini membuat peneliti menjadi tertarik untuk menganalisis apakah terjadi Likuifaksi pada daerah proyek tersebut. Metode penelitian yang digunakan ialah menggunakan data primer dari data *bore log* proyek, kemudian data sekunder menggunakan data dari SNI 1726 : 2019 dan *website* Desain Spektra Puskim PU. Alur penelitian tersebut ialah mengambil data tanah dari proyek dan data gempa menurut SNI 1726 : 2019 dan menggunakan data gempa dari Desain Spektra Indonesia Puskim PU, kemudian metode perhitungan analisis potensi likuifaksi menggunakan metode *Young-Idriss* dan metode *Idriss Boulanger*. Dari hasil analisis perhitungan tidak terjadi likuifaksi pada kedalaman 1.50 – 22.95 m pada BH.01 dan BH.04 berdasarkan SNI 1726 : 2019 dan juga berdasarkan Desain Spektra Indonesia Puskim PU walaupun jenis tanahnya lebih dominan pasir dan lanau.

Kata Kunci: Bore Hole; Likuifaksi; Pakam; Puskim; SNI 1726 : 2019; Sumatera Utara

Abstract

Pakam is an area close to Belawan and is also on the coast of North Sumatra which directly faces the Malacca Strait. Based on the land distribution map, Pakam is an area with silt soil, organic soil, peat soil and sand. The characteristics of these four soils are that they have a very low soil carrying capacity, because they contain a lot of water. However, in this coastal area, a road infrastructure development project was built at Kualanamu Airport, changing water to land to replace the old airport in an area that contains a lot of water. The aim of this research is to find out whether there is potential for liquefaction in the project when an earthquake occurs at magnitudes 6.5 SR, 7.5 SR and 8.0 SR and this makes researchers interested in analyzing whether liquefaction occurs in the project area. The research method used is using primary data from project bore log data, then secondary data using data from SNI 1726: 2019 and the PUSKIM PU Spektra Design website. The research flow is to take soil data from the project and earthquake data according to SNI 1726: 2019 and use earthquake data from Puskim PU Indonesian Spectra Design, then the liquefaction potential analysis calculation method uses the Young-Idriss method and the Idriss Boulanger method. From the results of the calculation analysis, liquefaction did not occur at a depth of 1.50 – 22.95 m at BH.01 and BH.04 based on SNI 1726: 2019 and also based on the Indonesian Puskim PU Spectra Design even though the soil type was dominantly sand and silt.

Keywords: Bore Hole; Liquefaction; Pakam; Puskim; SNI 1726 : 2019; North Sumatra

PENDAHULUAN

Secara geografis Negara Indonesia merupakan negara kepulauan atau disebut dengan Negara *Archipelago* selain itu Indonesia berada di jalur gempa teraktif di dunia karena dikelilingi oleh cincin api *Pasifik* dan juga terletak pada pertemuan tiga lempeng utama tektonik dunia yang mempengaruhi kondisi geologi di daratan Indonesia yaitu Lempeng *Pasifik*, Lempeng *Eurasia* dan Lempeng *Australia*.

Proyek pengembangan infrastruktur jalan di bandara kualanamu dibangun karena menggantikan bandara yang lama disebabkan ketidakmampuan menampung kapasitas manusia yang begitu padat, tidak cocok lagi dijadikan sebagai sarana lalu lintas udara dikarenakan letaknya berdekatan sama pemukiman warga dan juga sering terjadi kecelakaan. Disamping hal lain tersebut pengembangan infrastruktur jalan di bandara kualanamu juga berhubungan kaitannya dengan likuifaksi karena interaksi antara lapisan tanah pada pengembangan infrastruktur jalan di bandara kualanamu akan langsung berhadapan dengan perairan yang sangat luas.

Pakam adalah daerah yang berdekatan dengan belawan dan juga berada di pesisir pantai Sumatera Utara yang langsung berhadapan dengan Selat Malaka. Menurut Badan Geologi Indonesia pada peta persebaran tanah lunak di Indonesia, Pakam adalah daerah dengan jenis tanah lanau, tanah organik, tanah gambut dan pasir. Karakteristik dari keempat tanah tersebut memiliki daya dukung tanah yang sangat rendah, karena mengandung banyak air. Namun pada daerah pesisir tersebut justru dibangun sebuah proyek pengembangan infrastruktur jalan di bandara kualanamu, mengubah perairan menjadi daratan untuk menggantikan bandara yang lama di area

yang mengandung banyak airnya. Berdasarkan latar belakang tersebut saya tertarik untuk menganalisis potensi likuifaksi yang ada pada proyek pengembangan infrastruktur jalan di bandara kualanamu medan.

Permasalahan

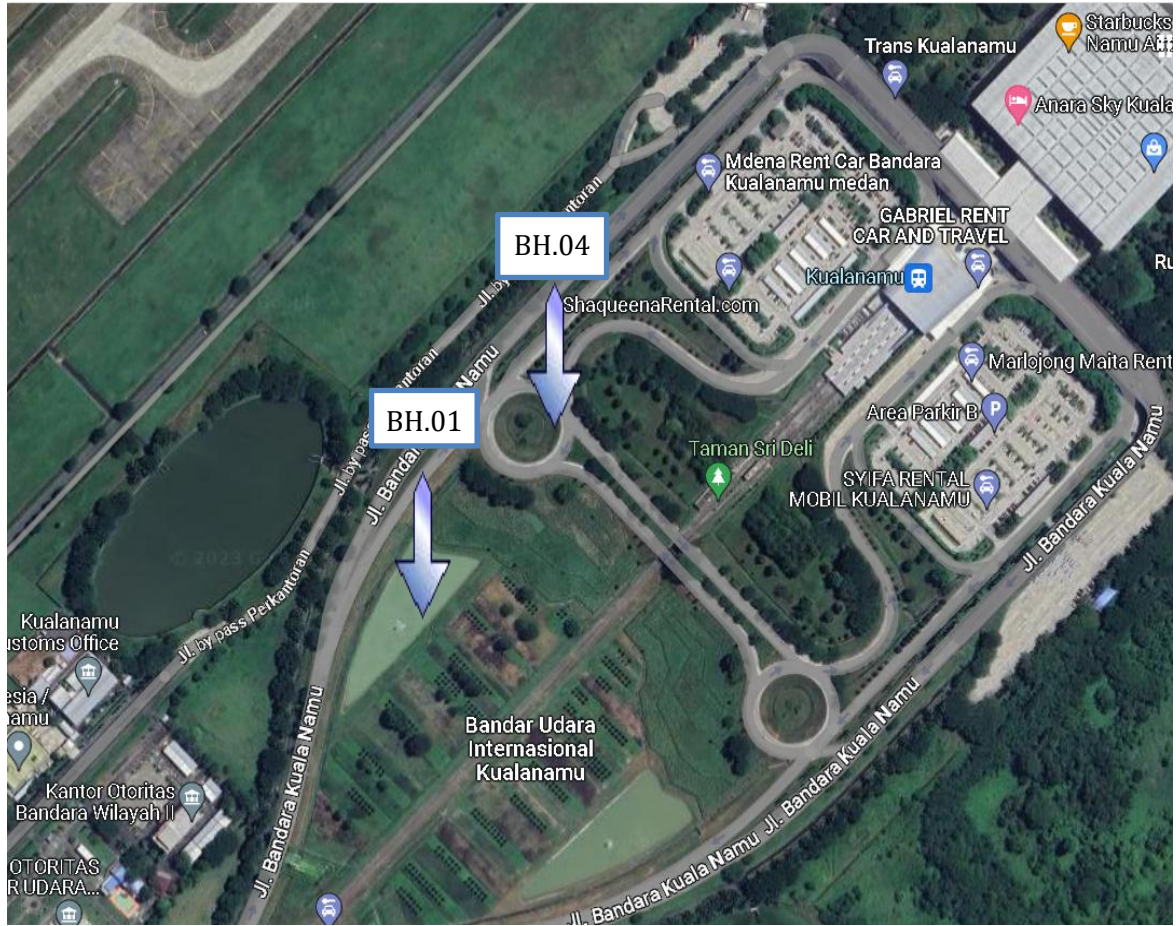
Berdasarkan penjelasan latar belakang di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah Apakah proyek pengembangan infrastruktur jalan di bandara kualanamu medan memiliki kemampuan mengalami likuifaksi apabila terjadi gempa dengan magnitudo 6.5 SR, 7.5 SR, dan 8.0 SR.

Maksud dan Tujuan Penulisan

Adapun maksud dari penulisan penelitian ini untuk menganalisis potensi likuifaksi pada Proyek Pengembangan Infrastruktur Jalan Di Bandara Kualanamu Medan menggunakan data bore log. Sedangkan tujuan dilakukannya penelitian ini adalah : (1) Untuk mengetahui pada magnitudo gempa berapa terjadi likuifaksi pada Proyek Pengembangan Infrastruktur Jalan Di Bandara Kualanamu Medan; (2) Untuk mengetahui perbandingan nilai *safety factor* potensi likuifaksi pada setiap lapisan tanah.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian yang diteliti oleh penulis berada di Pengembangan Infrastruktur Jalan Di Bandara KualaNamu Medan yang berlokasi di Jl. Bandara Kualanamu Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara, Indonesia. Pada Gambar 1 yang merupakan lokasi proyek ini adalah lokasi strategis yang berada jauh di pemukiman warga dan merupakan program pemerintahan pusat Indonesia untuk perluasan pembangunan ekonomi Indonesia.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
Sumber : Google Maps, 2024

Adapun metode pengumpulan data yang berkaitan dengan penyusunan jurnal tersebut yang dibuat oleh penulis yaitu :

1. Data primer meliputi data bore log/hole dan site plan
2. Data sekunder meliputi website puskim PU dan SNI 1726 : 2019

Data primer yang dipakai adalah data bore hole yang digunakan pada penelitian ini yaitu bore hole 1 yang dimana pada titik tersebut jenis tanahnya lebih dominan *silty* (lanau) dan *sand* (pasir) terlihat pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. *Drilling Log* BH.01

<i>Soil Investigation</i> Pengembangan Infrastruktur Jalan Di Bandara Kualanamu Medan			
Depth	z (m)	Description	N-SPT
1.50 – 1.95	1.95	Lempung berpasir	17
2.50 – 3.45	3.45	Pasir sedang	4
4.50 – 4.95	4.95	Pasir sedang	5
5.50 – 6.45	6.45	Pasir sedang	6
7.50 – 7.95	7.95	Lempung lanau	12
8.50 – 9.45	9.45	Lempung lanau	14
10.50 – 10.95	10.95	Pasir sedang	18
11.50 – 12.45	12.45	Pasir sedang	>60
13.50 – 13.95	13.95	Pasir halus	20
14.50 – 15.45	15.45	Pasir halus	8
16.50 – 16.95	16.95	Pasir lanau berbatu apung	9
17.50 – 18.45	18.45	Pasir lanau berbatu apung	11
19.95 – 20.50	20.50	Pasir halus berbatu apung	19
20.50 – 21.45	21.45	Pasir halus berbatu apung	27
22.50 – 22.95	22.95	Pasir halus berbatu apung	35

Sumber : Data Proyek, 2024

Sedangkan data Bore Hole 4 jenis tanahnya lebih dominan silty (lanau) dan sand (pasir) terlihat pada tabel 2 dibawah ini. Namun ada dua lapisan dengan jenis tanah clay yang akan tetap dianalisis

Tabel 2. *Drilling Log* BH.04

<i>Soil Investigation</i> Pengembangan Infrastruktur Jalan Di Bandara Kualanamu Medan			
Depth	z (m)	Description	N-SPT
1.50 – 1.95	1.95	Lempung berpasir	15
2.50 – 3.45	3.45	Pasir sedang	4
4.50 – 4.95	4.95	Pasir sedang	2
5.50 – 6.45	6.45	Pasir sedang	2
7.50 – 7.95	7.95	Pasir berlempung	4
8.50 – 9.45	9.45	Pasir berlempung	24
10.50 – 10.95	10.95	Lempung lanau	22
11.50 – 12.45	12.45	Lempung lanau	24
13.50 – 13.95	13.95	Pasir lanau	37
14.50 – 15.45	15.45	Pasir lanau	28
16.50 – 16.95	16.95	Pasir sedang	26
17.50 – 18.45	18.45	Pasir sedang	34
19.50 – 19.95	19.95	Pasir halus berbatu apung	38
20.50 – 21.45	21.45	Pasir halus berbatu apung	46
22.50 – 22.95	22.95	Pasir halus berbatu apung	58

Sumber : Data Proyek, 2024

Selanjutnya mencari data sekunder yang diperoleh secara tidak langsung melalui website Puskim PU dan SNI 1726 : 2019 yang merupakan refrensi penulis gunakan. Dimana refrensi tersebut digunakan untuk mencari nilai percepatan gempa pada suatu daerah yang diteliti oleh penulis.

Langkah awal untuk mengetahui Likuifaksi suatu daerah yaitu melakukan perhitungan tegangan tanah yang dilakukan pada titik BH.01 dengan kedalaman 1.50 – 1.95. Dengan dominan jenis tanah *silty* (lanau) dan *sand* (pasir) setelah itu dilakukan interpolasi dengan nilai korelasi parameter tanah dengan N-SPT untuk jenis tanah pasir dan lempung. Hasil dari perhitungan tegangan tanah pada BH.01 terlihat pada tabel 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Tegangan Tanah Pada BH.01

Tabel 3. Hasil Perhitungan Interpolasi Berat Isi Tanah Pada BH.01

Penyelidikan Tanah Pengembangan Infrastruktur Jalan Di Bandara Kualanamu Medan						
Depth	z (m)	Description	Tanda	N-SPT	Nilai Koreksi γ (kN/m ³)	γ (kN/m ³)
1.50 – 1.95	1.95	Lempung berpasir	SC	17	17.3 - 20.4	19
2.50 – 3.45	3.45	Pasir sedang	SP	4	14.1 - 18.1	15
4.50 – 4.95	4.95	Pasir sedang	SP	5	14.1 - 18.1	15
5.50 – 6.45	6.45	Pasir sedang	SP	6	14.1 - 18.1	15
7.50 – 7.95	7.95	Lempung lanau	CL	12	17.3 - 20.4	18
8.50 – 9.45	9.45	Lempung lanau	CL	14	17.3 - 20.4	18
10.50 – 10.95	10.95	Pasir sedang	SP	18	17.3 - 20.4	19
11.50 – 12.45	12.45	Pasir sedang	SP	>60	20.4 - 23.6	21
13.50 – 13.95	13.95	Pasir halus	SW	20	17.3 - 20.4	19
14.50 – 15.45	15.45	Pasir halus	SW	8	14.1 - 18.1	15
16.50 – 16.95	16.95	Pasir lanau berbatu apung	SM	9	14.1 - 18.1	15
17.50 – 18.45	18.45	Pasir lanau berbatu apung	SM	11	17.3 - 20.4	22
19.95 – 20.50	20.5	Pasir halus berbatu apung	SW	19	17.3 - 20.4	19
20.50 – 21.45	21.45	Pasir halus berbatu apung	SW	27	17.3 - 20.4	18
22.50 – 22.95	22.95	Pasir halus berbatu apung	SW	35	18.8 - 22.0	21

Sumber : Hasil Perhitungan, 2024

B. Perhitungan Tegangan Vertikal Total Tanah

Setelah didapatkan hasil dari perhitungan tegangan setiap lapisan tanah langkah selanjutnya melakukan perhitungan

tegangan vertikal total tanah, tekanan air pori tanah dan tegangan vertikal efektif tanah pada BH.01 yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Tegangan Vertikal Total Tanah, Tekanan Air Pori Tanah, dan Tegangan Vertikal Efektif Tanah Pada BH.01

Depth	z (m)	Tanda	N-SPT	γ (kN/m ³)	γ_w (kN/m ³)	σ_v (kN/m ²)	μ (kN/m ²)	σ'_v (kN/m ²)
1.50 – 1.95	1.95	SC	17	19	9.81	37.40	19.13	18.27
2.50 – 3.45	3.45	SP	4	15	9.81	52.96	33.84	19.11
4.50 – 4.95	4.95	SP	5	15	9.81	74.75	48.56	26.19
5.50 – 6.45	6.45	SP	6	15	9.81	96.32	63.27	33.05
7.50 – 7.95	7.95	CL	12	18	9.81	145.37	77.99	67.38
8.50 – 9.45	9.45	CL	14	18	9.81	170.75	92.70	78.05
10.50 – 10.95	10.95	SP	18	19	9.81	208.18	107.42	100.76
11.50 – 12.45	12.45	SP	>60	21	9.81	263.83	122.13	141.70
13.50 – 13.95	13.95	SW	20	19	9.81	261.57	136.85	124.72
14.50 – 15.45	15.45	SW	8	15	9.81	227.50	151.56	75.94
16.50 – 16.95	16.95	SM	9	15	9.81	248.41	166.28	82.13
17.50 – 18.45	18.45	SM	11	22	9.81	404.69	180.99	223.69
19.95 – 20.50	20.5	SW	19	19	9.81	386.84	201.11	185.74
20.50 – 21.45	21.45	SW	27	18	9.81	391.36	210.42	180.94
22.50 – 22.95	22.95	SW	35	21	9.81	484.64	225.14	259.50

Sumber : Hasil Perhitungan, 2024

C. Perhitungan Nilai $(N_1)_{60}$, dan $(N_1)_{60cs}$

Dalam menghitung nilai $(N_1)_{60}$, dapat dimulai dengan menghitung nilai C_N terlebih

dahulu dan dilanjutkan dengan menghitung nilai $(N_1)_{60}$. Berikut merupakan hasil perhitungan C_N dan $(N_1)_{60}$ di setiap lapisan tanah pada tabel 5 dibawah ini.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Nilai $(N_1)_{60}$ Pada BH.01

Depth	z (m)	N-SPT	C_N	C_E	C_B	C_R	C_S	$(N_1)_{60}$
1.50 – 1.95	1.95	17	1.59	0.85	1.05	0.80	1.00	19.31
2.50 – 3.45	3.45	4	1.58	0.85	1.05	0.80	1.00	4.52
4.50 – 4.95	4.95	5	1.50	0.85	1.05	0.85	1.00	5.71
5.50 – 6.45	6.45	6	1.44	0.85	1.05	0.95	1.00	7.31
7.50 – 7.95	7.95	12	1.17	0.85	1.05	0.95	1.00	11.95
8.50 – 9.45	9.45	14	1.11	0.85	1.05	0.95	1.00	13.19
10.50 – 10.95	10.95	18	1.00	0.85	1.05	1.00	1.00	16.01
11.50 – 12.45	12.45	>60	0.84	0.85	1.05	1.00	1.00	45.02
13.50 – 13.95	13.95	20	0.90	0.85	1.05	1.00	1.00	16.05
14.50 – 15.45	15.45	8	1.12	0.85	1.05	1.00	1.00	8.02
16.50 – 16.95	16.95	9	1.09	0.85	1.05	1.00	1.00	8.74
17.50 – 18.45	18.45	11	0.64	0.85	1.05	1.00	1.00	6.28
19.95 – 20.50	20.5	19	0.72	0.85	1.05	1.00	1.00	12.20
20.50 – 21.45	21.45	27	0.73	0.85	1.05	1.00	1.00	17.62
22.50 – 22.95	22.95	35	0.58	0.85	1.05	1.00	1.00	18.11

Sumber : Hasil perhitungan, 2024

Setelah perhitungan selesai, maka dapat dilanjutkan dengan menghitung $(N_1)_{60cs}$ dengan mengkorelasikan simbol jenis tanah pada *bore log* dengan *finer content* pada

klasifikasi jenis tanah USCS. $(N_1)_{60cs}$. Untuk hasil keseluruhannya dapat dilihat pada tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Nilai $(N_1)_{60sc}$ Pada BH.01

Penyelidikan Tanah Pengembangan Infrastruktur Jalan Di Bandara Kualanamu Medan				Korelasi Tabel dan Tabel			Koefisien $(N_1)_{60cs}$		
Depth	z (m)	Tanda	Description	$(N_1)_{60}$	Klasifikasi USCS	<i>Fines Content (%)</i>	α	β	
1.50 – 1.95	1.95	SC	Lempung berpasir	19.31	Tanah berbutir kasar	Kurang dari 12%	-	-	29.58
2.50 – 3.45	3.45	SP	Pasir sedang	4.52	Tanah berbutir kasar	Kurang dari 5%	-	-	23.44
4.50 – 4.95	4.95	SP	Pasir sedang	5.71	Tanah berbutir kasar	Kurang dari 5%	-	-	24.64
5.50 – 6.45	6.45	SP	Pasir sedang	7.31	Tanah berbutir kasar	Kurang dari 5%	-	-	26.24
7.50 – 7.95	7.95	CL	Lempung lanau	11.95	Tanah berbutir halus	Lebih dari 50%	5.00	1.20	18.10
8.50 – 9.45	9.45	CL	Lempung lanau	13.19	Tanah berbutir halus	Lebih dari 50%	5.00	1.20	19.34
10.50 – 10.95	10.95	SP	Pasir sedang	16.01	Tanah berbutir kasar	Kurang dari 5%	-	-	34.94
11.50 – 12.45	12.45	SP	Pasir sedang	45.02	Tanah berbutir kasar	Kurang dari 5%	-	-	63.95
13.50 – 13.95	13.95	SW	Pasir halus	16.05	Tanah berbutir kasar	Kurang dari 5%	-	-	34.97
14.50 – 15.45	15.45	SW	Pasir halus	8.02	Tanah berbutir kasar	Kurang dari 5%	-	-	26.94
16.50 – 16.95	16.95	SM	Pasir lanau berbatu apung	8.74	Tanah berbutir kasar	Kurang dari 12%	-	-	19.01
17.50 – 18.45	18.45	SM	Pasir lanau berbatu apung	6.28	Tanah berbutir kasar	Kurang dari 12%	-	-	16.55
19.95 – 20.50	20.5	SW	Pasir halus berbatu apung	12.20	Tanah berbutir kasar	Kurang dari 5%	-	-	31.13
20.50 – 21.45	21.45	SW	Pasir halus berbatu apung	17.62	Tanah berbutir kasar	Kurang dari 5%	-	-	36.54
22.50 – 22.95	22.95	SW	Pasir halus berbatu apung	18.11	Tanah berbutir kasar	Kurang dari 5%	-	-	37.04

Sumber : Hasil Perhitungan, 2024

D. Perhitungan *Stress Reduction Factor* (rd)

Untuk menghitung nilai *stress reduction factor* (rd) wajib diketahui berapa

kedalaman setiap lapisan tanah yang ingin diselediki. Keseluruhan nilai *stress reduction factor* (rd) dapat dilihat pada tabel 7 dibawah ini.

Tabel 7. Hasil Perhitungan *Stress Reduction Factor* pada BH.01

Depth	z (m)	rd
1.50 – 1.95	1.95	0.985
2.50 – 3.45	3.45	0.974
4.50 – 4.95	4.95	0.962
5.50 – 6.45	6.45	0.951
7.50 – 7.95	7.95	0.939
8.50 – 9.45	9.45	0.922
10.50 – 10.95	10.95	0.882
11.50 – 12.45	12.45	0.842
13.50 – 13.95	13.95	0.802
14.50 – 15.45	15.45	0.761
16.50 – 16.95	16.95	0.721
17.50 – 18.45	18.45	0.681
19.95 – 20.50	20.50	0.627
20.50 – 21.45	21.45	0.601
22.50 – 22.95	22.95	0.561

Sumber : Hasil Perhitungan, 2024

E. Perhitungan CSR Berdasarkan SNI 1726 : 2019

Untuk menghitung nilai CSR wajib mengetahui hasil dari tabel sebelumnya mulai dari perhitungan tegangan vertikal

total tanah, tekanan air pori tanah, dan tegangan vertikal efektif. Hasil dari keseluruhan perhitungan CSR berdasarkan SNI 1726 : 2019 bisa dilihat pada tabel 8 dibawah ini.

Tabel 8. Hasil Perhitungan CSR pada BH.01 berdasarkan SNI 1726:2019

Depth	z (m)	α_{max}	g	σ_v (kN/m ²)	σ'_v (kN/m ²)	rd	CSR
1.50 – 1.95	1.95	0.15	9.81	37.40	18.27	0.985	0.02004
2.50 – 3.45	3.45	0.15	9.81	52.96	19.11	0.974	0.02683
4.50 – 4.95	4.95	0.15	9.81	74.75	26.19	0.962	0.02729
5.50 – 6.45	6.45	0.15	9.81	96.32	33.05	0.951	0.02755
7.50 – 7.95	7.95	0.15	9.81	145.37	67.38	0.939	0.02013
8.50 – 9.45	9.45	0.15	9.81	170.75	78.05	0.922	0.02005
10.50 – 10.95	10.95	0.15	9.81	208.18	100.76	0.882	0.01811
11.50 – 12.45	12.45	0.15	9.81	263.83	141.70	0.842	0.01558
13.50 – 13.95	13.95	0.15	9.81	261.57	124.72	0.802	0.01672
14.50 – 15.45	15.45	0.15	9.81	227.50	75.94	0.761	0.02266
16.50 – 16.95	16.95	0.15	9.81	248.41	82.13	0.721	0.02167
17.50 – 18.45	18.45	0.15	9.81	404.69	223.69	0.681	0.01224
19.95 – 20.50	20.50	0.15	9.81	386.84	185.74	0.627	0.01298
20.50 – 21.45	21.45	0.15	9.81	391.36	180.94	0.601	0.01292
22.50 – 22.95	22.95	0.15	9.81	484.64	259.50	0.561	0.01041

Sumber : Hasil Perhitungan, 2024

F. Perhitungan CSR Berdasarkan Desain Spektra Indonesia Puskim PU

Untuk menghitung nilai *cyclic stress ratio* perbedaan perhitungan hanya terletak pada nilai percepatan gempa dasar yaitu 0.2823

berdasarkan Desain Spektra Indonesia Puskim PU. Hasil dari CSR berdasarkan desain spektra Indonesia puskim PU bisa dilihat pada tabel 9 dibawah ini.

Tabel 9. Hasil Perhitungan CSR pada BH.01 berdasarkan Desain Spektra Indonesia Puskim PU

Depth	z (m)	α_{max}	g	σ_v (kN/m ²)	σ'_v (kN/m ²)	rd	CSR
1.50 – 1.95	1.95	0.2823	9.81	37.40	18.27	0.985	0.03772
2.50 – 3.45	3.45	0.2823	9.81	52.96	19.11	0.974	0.05049
4.50 – 4.95	4.95	0.2823	9.81	74.75	26.19	0.962	0.05136
5.50 – 6.45	6.45	0.2823	9.81	96.32	33.05	0.951	0.05184
7.50 – 7.95	7.95	0.2823	9.81	145.37	67.38	0.939	0.03789
8.50 – 9.45	9.45	0.2823	9.81	170.75	78.05	0.922	0.03773
10.50 – 10.95	10.95	0.2823	9.81	208.18	100.76	0.882	0.03409
11.50 – 12.45	12.45	0.2823	9.81	263.83	141.70	0.842	0.02932
13.50 – 13.95	13.95	0.2823	9.81	261.57	124.72	0.802	0.03146
14.50 – 15.45	15.45	0.2823	9.81	227.50	75.94	0.761	0.04264
16.50 – 16.95	16.95	0.2823	9.81	248.41	82.13	0.721	0.04079
17.50 – 18.45	18.45	0.2823	9.81	404.69	223.69	0.681	0.02305
19.95 – 20.50	20.50	0.2823	9.81	386.84	185.74	0.627	0.02443
20.50 – 21.45	21.45	0.2823	9.81	391.36	180.94	0.601	0.02431
22.50 – 22.95	22.95	0.2823	9.81	484.64	259.50	0.561	0.01960

Sumber : Hasil Perhitungan, 2024

G. Perhitungan *Cyclic Resistance Ratio*

Untuk menghitung nilai *Cyclic Resistance Ratio* atau CRR dimana magnitudo gempa yang digunakan yaitu 6.5 SR, 7.5 SR, dan 8.0 SR. Sebelumnya, akan dihitung dahulu dengan menggunakan magnitudo 7.5 SR. Kemudian dilanjutkan dengan menghitung nilai CRR pada setiap magnitudo dengan

menggunakan rumus perhitungan koreksi yaitu *magnitude scaling factors* (MSF), factor koreksi *overburden* ($K\sigma$) dan factor kerapatan relative tanah (f). Untuk hasil keseluruhan yang dapat dilihat pada tabel 10, 11, 12 dibawah ini.

Tabel 10. Hasil Perhitungan CRR_{7,5} Pada BH.01

Depth (m)	z (m)	Magnitude Gempa (Mw)	CRR _{7,5}
1.50 – 1.95	1.95	7,5	5.3473
2.50 – 3.45	3.45	7,5	2.4734
4.50 – 4.95	4.95	7,5	2.9385
5.50 – 6.45	6.45	7,5	3.6301
7.50 – 7.95	7.95	7,5	0.8105
8.50 – 9.45	9.45	7,5	1.1425
10.50 – 10.95	10.95	7,5	9.1152
11.50 – 12.45	12.45	7,5	90.4383
13.50 – 13.95	13.95	7,5	9.1467
14.50 – 15.45	15.45	7,5	3.9594
16.50 – 16.95	16.95	7,5	1.0499
17.50 – 18.45	18.45	7,5	0.4340
19.95 – 20.50	20.50	7,5	6.2954
20.50 – 21.45	21.45	7,5	10.5533
22.50 – 22.95	22.95	7,5	11.0278

Sumber : Hasil Perhitungan, 2024

Tabel 11. Hasil Perhitungan CRR_{6,5} Pada BH.01

Depth (m)	z (m)	Magnitude Gempa (Mw)	MSF ≤ 1.8	f	K σ	CRR _{6,5}
1.50 – 1.95	1.95	6.5	1.30	0.6461	0.5297	3.6823
2.50 – 3.45	3.45	6.5	1.30	0.6845	0.6472	2.0810
4.50 – 4.95	4.95	6.5	1.30	0.6770	0.8211	3.1368
5.50 – 6.45	6.45	6.5	1.30	0.6670	0.9753	4.6026
7.50 – 7.95	7.95	6.5	1.30	0.7179	1.3081	1.3783
8.50 – 9.45	9.45	6.5	1.30	0.7101	1.4622	2.1718
10.50 – 10.95	10.95	6.5	1.30	0.6126	1.5671	18.5692
11.50 – 12.45	12.45	6.5	1.30	0.4313	1.5196	178.6606
13.50 – 13.95	13.95	6.5	1.30	0.6124	1.8019	21.4259
14.50 – 15.45	15.45	6.5	1.30	0.6626	1.7240	8.8737
16.50 – 16.95	16.95	6.5	1.30	0.7122	1.9118	2.6094
17.50 – 18.45	18.45	6.5	1.30	0.7276	2.7651	1.5599
19.95 – 20.50	20.50	6.5	1.30	0.6364	2.3655	19.3594
20.50 – 21.45	21.45	6.5	1.30	0.6026	2.2755	31.2190
22.50 – 22.95	22.95	6.5	1.30	0.5995	2.5759	36.9279

Sumber : Hasil Perhitungan, 2024

Tabel 12. Hasil Perhitungan CRR_8 Pada BH.01

Depth (m)	z (m)	Magnitude Gempa (Mw)	$MSF \leq 1.8$	f	$K\sigma$	CRR8
1.50 – 1.95	1.95	8.0	0.88	0.6461	0.5297	2.4926
2.50 – 3.45	3.45	8.0	0.88	0.6845	0.6472	1.4087
4.50 – 4.95	4.95	8.0	0.88	0.6770	0.8211	2.1234
5.50 – 6.45	6.45	8.0	0.88	0.6670	0.9753	3.1156
7.50 – 7.95	7.95	8.0	0.88	0.7179	1.3081	0.9330
8.50 – 9.45	9.45	8.0	0.88	0.7101	1.4622	1.4701
10.50 – 10.95	10.95	8.0	0.88	0.6126	1.5671	12.5700
11.50 – 12.45	12.45	8.0	0.88	0.4313	1.5196	120.9395
13.50 – 13.95	13.95	8.0	0.88	0.6124	1.8019	14.5037
14.50 – 15.45	15.45	8.0	0.88	0.6626	1.7240	6.0068
16.50 – 16.95	16.95	8.0	0.88	0.7122	1.9118	1.7664
17.50 – 18.45	18.45	8.0	0.88	0.7276	2.7651	1.0560
19.95 – 20.50	20.50	8.0	0.88	0.6364	2.3655	13.1049
20.50 – 21.45	21.45	8.0	0.88	0.6026	2.2755	21.1329
22.50 – 22.95	22.95	8.0	0.88	0.5995	2.5759	24.9974

Sumber : Hasil Perhitungan, 2024

H. Perhitungan *Factor of Safety* (FS) Berdasarkan SNI 1726 : 2019

Untuk perhitungan *factor of safety* dengan menghitung masing-masing lapisan dengan menggunakan nilai CSR dan CRR sesuai dengan magnitude gempa yang telah dihitung sebelumnya. Berdasarkan pada teori sebelumnya, jika nilai FS dibawah 1, maka berpotensi terjadi likuifaksi, jika nilai

FS sama dengan 1 maka tanah tersebut dalam kondisi kritis dan sangat besar berpotensi terjadinya likuifaksi, serta jika nilai FS tersebut diatas 1, maka lapisan tanah tersebut aman terhadap potensi likuifaksi. Untuk hasil perhitungan *Factor of Safety* (FS) BH.01 berdasarkan SNI 1726 : 2019 dengan magnitude 6.5 SR, 7.5 SR, dan 8.0 SR bisa dilihat pada tabel 13, 14, dan 15 dibawah ini.

Tabel 13. Hasil Perhitungan *factor of safety* Dengan Magnitudo 6.5 SR Pada BH-01

Depth	z (m)	CSR	CRR _{6.5}	FS _{6.5}	Keterangan
1.50 – 1.95	1.95	0.02004	3.6823	183.7463	Tidak Mengalami Likuifaksi
2.50 – 3.45	3.45	0.02683	2.0810	77.5631	Tidak Mengalami Likuifaksi
4.50 – 4.95	4.95	0.02729	3.1368	114.9431	Tidak Mengalami Likuifaksi
5.50 – 6.45	6.45	0.02755	4.6026	167.0639	Tidak Mengalami Likuifaksi
7.50 – 7.95	7.95	0.02013	1.3783	68.4708	Tidak Mengalami Likuifaksi
8.50 – 9.45	9.45	0.02005	2.1718	108.3188	Tidak Mengalami Likuifaksi
10.50 – 10.95	10.95	0.01811	18.5692	1025.3587	Tidak Mengalami Likuifaksi
11.50 – 12.45	12.45	0.01558	178.6606	11467.3012	Tidak Mengalami Likuifaksi
13.50 – 13.95	13.95	0.01672	21.4259	1281.4512	Tidak Mengalami Likuifaksi
14.50 – 15.45	15.45	0.02266	8.8737	391.6012	Tidak Mengalami Likuifaksi
16.50 – 16.95	16.95	0.02167	2.6094	120.4160	Tidak Mengalami Likuifaksi
17.50 – 18.45	18.45	0.01224	1.5599	127.4464	Tidak Mengalami Likuifaksi
19.95 – 20.50	20.50	0.01298	19.3594	1491.4826	Tidak Mengalami Likuifaksi
20.50 – 21.45	21.45	0.01292	31.2190	2416.3314	Tidak Mengalami Likuifaksi
22.50 – 22.95	22.95	0.01041	36.9279	3547.3502	Tidak Mengalami Likuifaksi

Sumber : Hasil Perhitungan, 2024

Tabel 14. Hasil Perhitungan *factor of safety* Dengan Magnitudo 7.5 SR Pada BH-01

Depth	z (m)	CSR	CRR _{7.5}	FS _{7.5}	Keterangan
1.50 – 1.95	1.95	0.02004	5.3473	266.8298	Tidak Mengalami Likuifaksi
2.50 – 3.45	3.45	0.02683	2.4734	92.1883	Tidak Mengalami Likuifaksi
4.50 – 4.95	4.95	0.02729	2.9385	107.6781	Tidak Mengalami Likuifaksi
5.50 – 6.45	6.45	0.02755	3.6301	131.7650	Tidak Mengalami Likuifaksi
7.50 – 7.95	7.95	0.02013	0.8105	40.2645	Tidak Mengalami Likuifaksi
8.50 – 9.45	9.45	0.02005	1.1425	56.9840	Tidak Mengalami Likuifaksi
10.50 – 10.95	10.95	0.01811	9.1152	503.3224	Tidak Mengalami Likuifaksi
11.50 – 12.45	12.45	0.01558	90.4383	5804.7662	Tidak Mengalami Likuifaksi
13.50 – 13.95	13.95	0.01672	9.1467	547.0500	Tidak Mengalami Likuifaksi
14.50 – 15.45	15.45	0.02266	3.9594	174.7289	Tidak Mengalami Likuifaksi
16.50 – 16.95	16.95	0.02167	1.0499	48.4507	Tidak Mengalami Likuifaksi
17.50 – 18.45	18.45	0.01224	0.4340	35.4543	Tidak Mengalami Likuifaksi
19.95 – 20.50	20.50	0.01298	6.2954	485.0069	Tidak Mengalami Likuifaksi
20.50 – 21.45	21.45	0.01292	10.5533	816.8212	Tidak Mengalami Likuifaksi
22.50 – 22.95	22.95	0.01041	11.0278	1059.3492	Tidak Mengalami Likuifaksi

Sumber : Hasil Perhitungan, 2024

Tabel 15. Hasil Perhitungan *factor of safety* Dengan Magnitudo 8.0 SR Pada BH-01

Depth	z (m)	CSR	CRR _{8.0}	FS ₈	Keterangan
1.50 – 1.95	1.95	0.02004	2.4926	124.3821	Tidak Mengalami Likuifaksi
2.50 – 3.45	3.45	0.02683	1.4087	52.50426	Tidak Mengalami Likuifaksi
4.50 – 4.95	4.95	0.02729	2.1234	77.80764	Tidak Mengalami Likuifaksi
5.50 – 6.45	6.45	0.02755	3.1156	113.0894	Tidak Mengalami Likuifaksi
7.50 – 7.95	7.95	0.02013	0.9330	46.34943	Tidak Mengalami Likuifaksi
8.50 – 9.45	9.45	0.02005	1.4701	73.3235	Tidak Mengalami Likuifaksi
10.50 – 10.95	10.95	0.01811	12.5700	694.089	Tidak Mengalami Likuifaksi
11.50 – 12.45	12.45	0.01558	120.9395	7762.481	Tidak Mengalami Likuifaksi
13.50 – 13.95	13.95	0.01672	14.5037	867.4439	Tidak Mengalami Likuifaksi
14.50 – 15.45	15.45	0.02266	6.0068	265.0839	Tidak Mengalami Likuifaksi
16.50 – 16.95	16.95	0.02167	1.7664	81.51234	Tidak Mengalami Likuifaksi
17.50 – 18.45	18.45	0.01224	1.0560	86.27138	Tidak Mengalami Likuifaksi
19.95 – 20.50	20.50	0.01298	13.1049	1009.619	Tidak Mengalami Likuifaksi
20.50 – 21.45	21.45	0.01292	21.1329	1635.67	Tidak Mengalami Likuifaksi
22.50 – 22.95	22.95	0.01041	24.9974	2401.283	Tidak Mengalami Likuifaksi

Sumber : Hasil Perhitungan, 2024

I. Perhitungan *Factor of Safety* (FS) Berdasarkan Desain Spektra Indonesia Puskim PU

Untuk perhitungan *Factor of Safety* (FS) berdasarkan desain spektra Indonesia puskim PU hanya diganti nilai CSR saja yang

sudah didapatkan hasil keseluruhan pada tabel 9. Untuk hasil keseluruhan *Factor of Safety* (FS) berdasarkan desain spektra Indonesia puskim bisa dilihat pada tabel dibawah ini dengan magnitudo 6.5 SR, 7.5 SR, dan 8.0 SR.

Tabel 16. Hasil Perhitungan *factor of safety* Dengan Magnitudo 6.5 SR Pada BH-01

Depth	z (m)	CSR	CRR _{6.5}	FS _{6.5}	Keterangan
1.50 – 1.95	1.95	0.03772	3.6823	97.63191	Tidak Mengalami Likui-faksi
2.50 – 3.45	3.45	0.05049	2.0810	41.21681	Tidak Mengalami Likui-faksi
4.50 – 4.95	4.95	0.05136	3.1368	61.07739	Tidak Mengalami Likui-faksi
5.50 – 6.45	6.45	0.05184	4.6026	88.78168	Tidak Mengalami Likui-faksi
7.50 – 7.95	7.95	0.03789	1.3783	36.37343	Tidak Mengalami Likui-faksi
8.50 – 9.45	9.45	0.03773	2.1718	57.56312	Tidak Mengalami Likui-faksi
10.50 – 10.95	10.95	0.03409	18.5692	544.77807	Tidak Mengalami Likui-faksi
11.50 – 12.45	12.45	0.02932	178.6606	6092.66119	Tidak Mengalami Likui-faksi
13.50 – 13.95	13.95	0.03146	21.4259	681.01538	Tidak Mengalami Likui-faksi
14.50 – 15.45	15.45	0.04264	8.8737	208.09098	Tidak Mengalami Likui-faksi
16.50 – 16.95	16.95	0.04079	2.6094	63.97131	Tidak Mengalami Likui-faksi
17.50 – 18.45	18.45	0.02305	1.5599	67.69095	Tidak Mengalami Likui-faksi
19.95 – 20.50	20.5	0.02443	19.3594	792.58197	Tidak Mengalami Likui-faksi
20.50 – 21.45	21.45	0.02431	31.2190	1283.94806	Tidak Mengalami Likui-faksi
22.50 – 22.95	22.95	0.01960	36.9279	1884.32067	Tidak Mengalami Likui-faksi

Sumber : Hasil Perhitungan, 2024

Tabel 17. Hasil Perhitungan *factor of safety* Dengan Magnitudo 7.5 SR Pada BH-01

Depth	z (m)	CSR	CRR _{7.5}	FS _{7.5}	Keterangan
1.50 – 1.95	1.95	0.03772	5.3473	141.7776	Tidak Mengalami Likui-faksi
2.50 – 3.45	3.45	0.05049	2.4734	48.9886	Tidak Mengalami Likui-faksi
4.50 – 4.95	4.95	0.05136	2.9385	57.2170	Tidak Mengalami Likui-faksi
5.50 – 6.45	6.45	0.05184	3.6301	70.0231	Tidak Mengalami Likui-faksi
7.50 – 7.95	7.95	0.03789	0.8105	21.3895	Tidak Mengalami Likui-faksi
8.50 – 9.45	9.45	0.03773	1.1425	30.2826	Tidak Mengalami Likui-faksi
10.50 – 10.95	10.95	0.03409	9.1152	267.4176	Tidak Mengalami Likui-faksi
11.50 – 12.45	12.45	0.02932	90.4383	3084.1149	Tidak Mengalami Likui-faksi
13.50 – 13.95	13.95	0.03146	9.1467	290.7247	Tidak Mengalami Likui-faksi
14.50 – 15.45	15.45	0.04264	3.9594	92.8483	Tidak Mengalami Likui-faksi
16.50 – 16.95	16.95	0.04079	1.0499	25.7396	Tidak Mengalami Likui-faksi
17.50 – 18.45	18.45	0.02305	0.4340	18.8309	Tidak Mengalami Likui-faksi
19.95 – 20.50	20.5	0.02443	6.2954	257.7353	Tidak Mengalami Likui-faksi
20.50 – 21.45	21.45	0.02431	10.5533	434.0282	Tidak Mengalami Likui-faksi
22.50 – 22.95	22.95	0.01960	11.0278	562.7168	Tidak Mengalami Likui-faksi

Sumber : Hasil Perhitungan, 2024

Tabel 18. Hasil Perhitungan *factor of safety* Dengan Magnitudo 8.0 SR Pada BH-01

Depth	z (m)	CSR	CRR _{8.0}	FS ₈	Keterangan
1.50 – 1.95	1.95	0.03772	2.4926	66.0893	Tidak Mengalami Likuifaksi
2.50 – 3.45	3.45	0.05049	1.4087	27.9006	Tidak Mengalami Likuifaksi
4.50 – 4.95	4.95	0.05136	2.1234	41.3447	Tidak Mengalami Likuifaksi
5.50 – 6.45	6.45	0.05184	3.1156	60.0984	Tidak Mengalami Likuifaksi
7.50 – 7.95	7.95	0.03789	0.9330	24.6220	Tidak Mengalami Likuifaksi
8.50 – 9.45	9.45	0.03773	1.4701	38.9658	Tidak Mengalami Likuifaksi
10.50 – 10.95	10.95	0.03409	12.5700	368.7728	Tidak Mengalami Likuifaksi
11.50 – 12.45	12.45	0.02932	120.9395	4124.2630	Tidak Mengalami Likuifaksi
13.50 – 13.95	13.95	0.03146	14.5037	460.9950	Tidak Mengalami Likuifaksi
14.50 – 15.45	15.45	0.04264	6.0068	140.8616	Tidak Mengalami Likuifaksi
16.50 – 16.95	16.95	0.04079	1.7664	43.3037	Tidak Mengalami Likuifaksi
17.50 – 18.45	18.45	0.02305	1.0560	45.8216	Tidak Mengalami Likuifaksi
19.95 – 20.50	20.5	0.02443	13.1049	536.5170	Tidak Mengalami Likuifaksi
20.50 – 21.45	21.45	0.02431	21.1329	869.1341	Tidak Mengalami Likuifaksi
22.50 – 22.95	22.95	0.01960	24.9974	1275.5401	Tidak Mengalami Likuifaksi

Sumber : Hasil Perhitungan, 2024

SIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan pembahasan di atas, diperoleh bahwa semua lapisan tanah pada bore hole 1 tidak mengalami likuifaksi menurut referensi SNI 1726:2019 dengan magnitudo 6.5 SR, 7.5 SR, dan 8.0 SR. Selain itu juga menurut referensi Puskim PU diperoleh bahwa semua lapisan

tanah pada bore hole 1 tidak mengalami likuifaksi dengan magnitudo 6.5 SR, 7.5 SR, dan 8.0 SR walaupun jenis tanahnya pasir (sand) dan lanau (silt) lebih dominan dan ada beberapa lapisan tanah yang memiliki karakteristik lempung (clay) tetap wajib dianalisis apakah adanya berpotensi terjadinya likuifaksi atau tidak.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, K. (2010). Wilayah Risiko Bencana Gempa Bumi Pada Jalur Patahan Semangko Di Kabupaten Tanah Datar Provinsi Sumatera Bara, FMIPA: UI.
- Badan Geologi. (2019). Atlas Zona Likuefaksi Indonesia: Bandung.
- Bowles, J.E. (2014). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Erlangga: Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT SNI 4153:2008: Bandung.
- Baxter, S. J. (2000). Delaware Special Publication No. 23: Earthquake Basic. Geology: University of Delaware.
- BSN. (2019). SNI 1726:2019 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa. Badan Standar Nasional, 7798393(April).
- Butts, N. (1994). Soil Investigations. Developments in Geotechnical Engineering, 75(C): 60-104.
- Coe, J. (2022). Physical Properties of Soil.
- Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik. Jilid II. Erlangga: Surabaya.
- Das, Braja M., (2011). *Principle Of Foundation Engineering*, Edisi 7, Cengage Learning, Stamford: USA.
- Idriss, I. M., & Boulanger, R. W. (2008). *Soil Liquefaction During Earthquakes* (2nd Editio). Earthquake Engineering Research Institute.