

Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data *Bore Log* Pada Proyek Reklamasi Belawan Phase-1

Ahmad Tulus Kurniawan ¹⁾, Tika Ermita Wulandari ²⁾, Rudianto Surbakti ³⁾

E-Mail : tuluskurniawan03@gmail.com¹⁾; tikaermita@staff.uma.ac.id²⁾

¹⁾Teknik/Teknik Sipil, Universitas Medan Area

²⁾Teknik/Teknik Sipil, Universitas Medan Area

Jalan Kolam, No.1 Medan Estate, Medan. 20223, Indonesia

³⁾Teknik/Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan (affiliation)

University of Sumatera Utara, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kota Medan, Sumatera Utara 20155

Koresponden naskah : tuluskurniawan03@gmail.com

ABSTRACT

Belawan is a region in North Sumatra and is directly adjacent to the Malacca Strait. Belawan is used as a port, where ships dock for passenger ships and logistics transport ships. One of the terminals in the Belawan Port area requires land expansion, so the North Sumatra Provincial government created a reclamation project to expand the container terminal in order to maximize Belawan's potential and make the loading and unloading process of logistics goods more effective and efficient. The purpose of this study was to determine the potential for liquefaction in the Belawan Reclamation Project Phase-1 when an earthquake occurred at a magnitude of 7.0 on the Richter scale and 8.0 on the Richter scale at BH.01 and. Based on the soil distribution map, Belawan is an area with organic soil types. The research method used is using primary data from project bore log data, then secondary data using data from the Puskim PU website. The stages of this research were to collect soil data from the project and earthquake data from Puskim PU, then carry out the liquefaction potential analysis calculation method using the Young-Idriss method with the Idriss Boulanger method. The results of the research that has been carried out is that the potential for liquefaction only occurs in the soil layers 01.00 – 01.50 based on the Design Spectra of Indonesia Puskim PU on BH.01.

Keywords : Belawan, liquefaction, reclamation

ABSTRAK

Belawan merupakan salah satu wilayah di Sumatera Utara dan berbatasan langsung dengan Selat Malaka. Belawan dijadikan sebagai Pelabuhan, tempat kapal-kapal bersandar untuk kapal penumpang maupun kapal pengangkut logistik. Salah satu terminal di area Pelabuhan belawan membutuhkan perluasan lahan, sehingga pemerintah Propinsi Sumatera Utara membuat proyek reklamasi untuk memperluas terminal peti kemas guna memaksimalkan potensi belawan serta membuat proses bongkar-muat barang logistik menjadi lebih efektif dan efisien. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi likuifaksi pada Proyek Reklamasi Belawan Phase-1 ketika terjadinya gempa pada kekuatan 7,0 SR, dan 8,0 SR pada BH.01 dan. Berdasarkan peta persebaran tanah, Belawan merupakan wilayah dengan jenis tanah organik. Metode penelitian yang digunakan ialah menggunakan data primer dari data *bore log* proyek, kemudian data sekunder menggunakan data dari *website* Puskim PU. Tahapan penelitian ini ialah mengambil data tanah dari proyek dan data gempa dari Puskim PU, kemudian melakukan metode perhitungan analisis potensi likuifaksi menggunakan metode *Young-Idriss* dengan metode *Idriss Boulanger*. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan adalah potensi likuifaksi hanya terjadi pada lapisan tanah 01.00 – 01.50 berdasarkan Desain Spektra Indonesia Puskim PU pada BH.01.

Kata Kunci : Belawan, likuifaksi, reklamasi

1. PENDAHULUAN (HEADING 1)

Reklamasi adalah sebuah metode mengubah perairan menjadi daratan baru yang bisa difungsikan sebagai sarana publik. Idriss, 2001 menyebutkan Sebab dilakukannya reklamasi biasanya karena adanya kepentingan untuk memaksimalkan perairan yang dangkal agar bisa dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan dan juga mengembangkan daerah di sekitar perairan. Yi F, 2014 menyatakan

Reklamasi erat kaitannya dengan likuifaksi karena interaksi antara lapisan tanah pada reklamasi akan langsung berhadapan dengan perairan yang sangat luas. (Rahmadika, 2019) menyatakan Likuifaksi adalah bercampurnya partikel tanah dengan air di dalam tanah yang disebabkan oleh gempa bumi dan bisa membuat daya dukung pada tanah mengalami perlemahan sehingga menyebabkan konstruksi diatasnya rusak. Mase, 2018, menyatakan Hal

tersebut bisa saja terjadi pada daerah yang memiliki tanah eksisting lunak dan langsung berhadapan dengan laut.

Belawan merupakan daerah yang berada di pesisir pantai di Sumatera Utara yang langsung berhadapan dengan Selat Malaka. Menurut Badan Geologi Indonesia pada peta persebaran tanah lunak di Indonesia, Badan Geologi, 2019 menyatakan Belawan adalah daerah dengan jenis tanah gambut dan tanah organik. BSN, 2008 menyebutkan Karakteristik tanah gambut dan tanah organik memiliki daya dukung tanah yang sangat rendah, karena mengandung banyak air. Namun pada daerah pesisir tersebut justru dibangun sebuah proyek reklamasi, mengubah perairan menjadi daratan untuk memperluas terminal peti kemas di area perairan. Fernando, 2019. Berdasarkan latar belakang tersebut, saya tertarik untuk menganalisis potensi terjadinya likuifaksi pada Proyek Reklamasi Belawan Phase-1

2. TINJAUAN PUSAKA

Likuifaksi adalah proses berubahnya sifat tanah, dari sifat *solid* menjadi *liquid*. Artinya adalah kecendrungan tanah menjadi seperti air. Likuifaksi sendiri terjadi pada jenis tanah dengan kondisi jenuh. Biasanya likuifaksi merupakan jenis bencana susulan akibat dari adanya bencana utama, yaitu gempa bumi. Boulanger, 2008.

Menurut Das (2011) sistem klasifikasi tanah merupakan sistem yang mengatur beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi dengan karakteristik yang sama dan subkelompok berdasarkan penggunaan. Sistem klasifikasi berfungsi untuk menelaskan secara singkat sifat umum yang sangat bervariasi. Sistem klasifikasi yang ada dan terutama dikembangkan berdasarkan karakteristik indeks tanah sederhana.

Sistem ini banyak digunakan untuk merekayasa tanah karena tanah pada sistem ini dikategorikan berdasarkan ukuran partikelnya. Berikut klasifikasi USCS dibagi ke dalam tiga kategori tanah. Purba, 2020.

Menurut Hardiyatmo (2002) tanah adalah bahan yang terdiri dari campuran butiran dengan kandungan bahan organik atau tanpa bahan organik. Tanah berasal dari batuan yang mengalami pelapukan dan bisa disebabkan karena proses secara fisik ataupun kimiawi. Menurut Bowles (1989), tanah merupakan campuran partikel terdiri dari salah satu atau semua jenis berikut:

- a. Kerikil adalah butiran batu dengan ukuran 5 sampai 150 mm.

- b. Berangkal (batuan), ada batu besar, Ukuran biasanya > 250-300 mm. Untuk batu paving berukuran antara 150 mm dan 250 mm.
- c. Pasir (*sand*) adalah partikel batuan dengan ukuran antara 0,075 dan 5 mm mm, ukuran partikel kasar bervariasi antara 3 mm – 5 mm, sedangkan partikel kecil berukuran kurang dari 1 mm.
- d. Lanau, adalah partikel batuan dengan ukuran 0,002 mm sampai 0,075mm. Biasanya, tanah lanau terendapkan di danau atau kolam dekat pantai di muara sungai.
- e. lempung (*clay*), merupakan partikel mineral dengan ukuran <0,002 mm.
- f. Koloid adalah partikel dengan dimensi <0,001 mm. Selain klasifikasi lahan Bowles (1989) yang dijelaskan di atas.

Tabel 1. Tanah Berbutir Kasar (*Coarse grained soils*)

	Simbol	Deskripsi
Gravels (Kerikil)		Clean Gravels (Less than 5% fines)
	GW	Well graded gravels, gravel-sand, mixtures, little or no fines
Lebih dari 50% gradasi kasar lebih besar dari ukuran saringan No.4	GP	Poorly graded gravels, gravel-sand mixture, little or no fines
		Gravels with fines (More than 12% fines)
Sands (Pasir)	GM	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures
	GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures
Lebih dari 50% gradasi kasar lebih kecil dari ukuran saringan No.4		Clean Sands (Less than 5% fines)
	SW	Well graded sands, gravelly sands, little or no fines
	SP	Poorly graded sands, gravelly sands, little of no fines
		Sands with fines (Less than 12% fines)
Silty sands, sandy-silt mixtures	SM	Silty sands, sandy-silt mixtures
	SC	Clayey sands, sand-clay mixtures

Sumber : California Department of Transportation, 2016

Tabel 2. Tanah Berbutir Halus (*Fine grained soils*)

	Simbol	Deskripsi
50% or more of materials is smaller than No.200 sieve size		
Silts & Clays (Lanau & Lempung)	ML	Inorganic silts and very fine sands, rock flour, clayey fine sands or clayey silts with a visible plasticity
	CL	Low to medium plasticity inorganic clays, gravelly clays, sands clays, silty clays, lean clays
Batas Cair Kurang Dari 5%	OL	Low plasticity organic silts and organic silty clays
Silts & Clays (Lanau & Lempung)	MH	Silts that are inorganic, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, and elastic silts
	CH	High plasticity inorganic clays, fat clays
50% atau lebih	OH	Organic clays with medium to high plasticity, as well as organic silts

Sumber : California Department of Transportation, 2016

Factor of Safety (FS) Merupakan nilai untuk mengetahui faktor keamanan terhadap likuifaksi. Perhitungan faktor keamanan tanah terhadap likuifaksi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

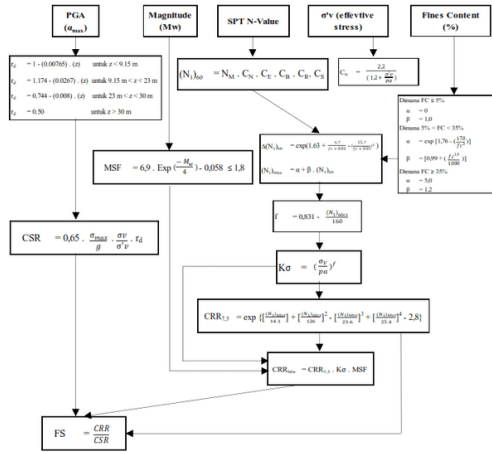
$$FS = \frac{CRR}{CSR} < 1 \text{ (Terjadi Likuifaksi)}$$

$$FS = \frac{CRR}{CSR} = 1 \text{ (Kondisi Kritis)}$$

$$FS = \frac{CRR}{CSR} > 1 \text{ (Tidak Terjadi Likuifaksi)}$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data *bore log* pada Proyek Reklamasi Belawan Phase-1 sebagai data *primer* dan juga data dari Desain Spektra Indonesia Puskim PU sebagai data sekundernya. Metode perhitungan yang digunakan adalah metode *Young-Idriss* dengan metode *Idriss Boulanger*.



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Tegangan Tanah

Diambil perhitungan pada titik BH.01 dengan kedalaman 01.00 – 01.50 m dengan symbol SC. Berdasarkan USCS *classification*, SC termasuk kedalam jenis tanah pasir berlempung, yang berarti termasuk kedalam jenis tanah *Sands*. Maka akan digunakan interpolasi berdasarkan tabel 2.10 *soil parameters sands* dengan rumus perhitungan

Perhitungan Berat Isi Lapisan Tanah
Kedalaman = 01.00 – 01.50 m
USCS *symbol* = SC
N-SPT = 1.0
Nilai koreksi, γ = 11.0 – 15.7 kN/m³
Rumus interpolasi, digunakan :

$$\gamma = \frac{(y)}{(x+z)} + \gamma_1$$

$$= \frac{(3-0)}{((1-0)+(15.7-11.0))} + 11.0$$

$$= 12.6 \text{ kN/m}^3$$

Untuk hasil keseluruhan perhitungan interpolasi BH.01 dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini :

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

Lanjutan tabel 3

Perhitungan Tegangan Vertikal Total Tanah

Perhitungan Tegangan vertical total tanah (σ_v)
Kedalaman = 01.00 – 01.50 m

Kedalaman tanah yang ditinjau, $z = 1.50 \text{ m}$

29.00 - 30.50	30,50	CH	Lempung Lumak	2,0	Lempung	15.7 - 18.8	17,8
31.00 - 32.50	32,50	CH	Lempung Lumak	5,0	Lempung	17.3 - 20.4	17,6
33.00 - 34.50	34,50			9,0		17.3 - 20.4	18,7
35.00 - 36.50	36,50	CL	Lempung Berlanau	10,0	Lempung	17.3 - 20.4	17,4
37.00 - 38.50	38,50			9,0		17.3 - 20.4	17,1
39.00 - 40.50	40,50			10,0		17.3 - 20.4	19,0
41.00 - 42.50	42,50	C	Lempung	9,0	Lempung	17.3 - 20.4	17,1
43.00 - 44.50	44,50			11,0		17.3 - 20.4	19,3
45.00 - 46.50	46,50	CL	Lempung Berlanau	10,0	Lempung	17.3 - 20.4	19,0
47.00 - 48.50	48,50			12,0		17.3 - 20.4	19,6
49.00 - 50.50	50,50	CL	Lempung Berpasir	14,0	Lempung	17.3 - 20.4	20,1
51.00 - 52.50	52,50			19,0		18.8 - 22.0	19,4
53.00 - 54.50	54,50			21,0		18.8 - 22.0	19,9
55.00 - 56.50	56,50	CL	Lempung Berlanau	17,0	Lempung	18.8 - 22.0	19,0
57.00 - 58.50	58,50			23,0		18.8 - 22.0	20,3
59.00 - 60.50	60,50	CL	Lempung Berlanau	22,0	Lempung	18.8 - 22.0	20,1

Sumber : Hasil Perhitungan, 2023

19.00 - 20.50	20,50	OL	Organik Busukan Kayu	4,0	Organik	15.7 - 18.8	18,8
21.00 - 22.50	22,50			3,0		17.3 - 20.4	17,3
23.00 - 24.50	24,50			4,0		15.7 - 18.8	18,8
25.00 - 26.50	26,50	CL	Lempung Berpasir	3,0	Lempung	15.7 - 18.8	18,8
27.00 - 28.50	28,50			3,0		15.7 - 18.8	18,8

Berat isi lapisan tanah, $\gamma = 12.6 \text{ kN/m}^3$
Rumus tegangan vertical total tanah, digunakan :
 $\sigma_v = \sum (\gamma \cdot z)$
 $= 12.6 \text{ kN/m}^3 \times 1.50 \text{ m}$
 $= 18.90 \text{ kN/m}^2$

Maka, tegangan vertikal total tanah pada kedalaman 1.50 m adalah 18.90 kN/m²

Untuk hasil keseluruhan perhitungan tegangan vertical total tanah BH.01 dapat dilihat pada tabel 4 dibawah ini :

Tanah, dan Tegangan Vertikal Efektif Tanah Pada BH.01

Depth (m)	z (m)	Symbol	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)
01.00 - 01.50	1,50	SC	1,0	12,6	9,81	18,90	14,72	4,19
02.00 - 02.50	2,50		1,0	12,6	9,81	50,40	24,53	30,06
03.00 - 04.50	4,50	CL	1,0	16,7	9,81	125,55	44,15	111,47
05.00 - 06.50	6,50		2,0	17,8	9,81	241,25	63,77	288,95
07.00 - 08.50	8,50	CH	2,0	17,8	9,81	392,55	83,39	598,12
08.50 - 10.50	10,50		3,0	18,8	9,81	589,95	103,01	1.085,06
11.00 - 12.50	12,50		3,0	18,8	9,81	824,95	122,63	1.787,39
13.00 - 14.50	14,50	CL	2,0	17,8	9,81	1.083,05	142,25	2.728,19
15.00 - 16.50	16,50		3,0	15,7	9,81	1.342,10	161,87	3.908,43
17.00 - 18.50	18,50	SM	2,0	14,1	9,81	1.602,95	181,49	5.329,89
19.00 - 20.50	20,50	OL	4,0	17,3	9,81	1.957,60	201,11	7.086,39
21.00 - 22.50	22,50		3,0	18,8	9,81	2.380,60	220,73	9.246,26
23.00 - 24.50	24,50		4,0	17,3	9,81	2.804,45	240,35	11.810,37
25.00 - 26.50	26,50	CL	3,0	18,8	9,81	3.302,65	259,97	14.853,05
27.00 - 28.50	28,50		3,0	18,8	9,81	3.838,45	279,59	18.411,92
29.00 - 30.50	30,50	CH	2,0	17,8	9,81	4.381,35	299,21	22.494,06
31.00 - 32.50	32,50	CH	5,0	17,6	9,81	4.953,35	318,83	27.128,59
33.00 - 34.50	34,50		9,0	18,7	9,81	5.598,50	338,45	32.388,64
35.00 - 36.50	36,50	CL	10,0	17,4	9,81	6.233,60	358,07	38.264,18
37.00 - 38.50	38,50		9,0	17,1	9,81	6.891,95	377,69	44.778,44
39.00 - 40.50	40,50		10,0	19,0	9,81	7.661,45	397,31	52.042,59
41.00 - 42.50	42,50	C	9,0	17,1	9,81	8.388,20	416,93	60.013,86
43.00 - 44.50	44,50		11,0	19,3	9,81	9.247,05	436,55	68.824,37
45.00 - 46.50	46,50	CL	10,0	19,0	9,81	10.130,55	456,17	78.498,75
47.00 - 48.50	48,50		12,0	19,6	9,81	11.081,15	475,79	89.104,12
49.00 - 50.50	50,50	CL	14,0	20,1	9,81	12.096,20	495,41	100.704,91
51.00 - 52.50	52,50		19,0	19,4	9,81	13.114,70	515,03	113.304,59
53.00 - 54.50	54,50		21,0	19,9	9,81	14.199,25	534,65	126.969,19
55.00 - 56.50	56,50	CL	17,0	19,0	9,81	15.272,75	554,27	141.687,68
57.00 - 58.50	58,50		23,0	20,3	9,81	16.460,30	573,89	157.574,09
59.00 - 60.50	60,50	CL	22,0	20,1	9,81	17.676,35	593,51	174.656,94

Sumber : Hasil Perhitungan, 2023

Perhitungan Nilai (N₁)₆₀

Kedalaman = 01.00 – 01.50 m
Kedalaman yang ditinjau, = 1.50 m
Nilai N-SPT = 1.0
Tegangan vertikal efektif tanah, $\sigma'v = 4,19 \text{ kN/m}^2$
Rumus C_N dapat dihitung menggunakan:

$$C_N = \frac{2,2}{\left(1,2 + \frac{\sigma'v}{Pa}\right)} = \frac{2,2}{\left(1,2 + \frac{4,19}{100}\right)} = 1,77$$

Jika nilai C_N telah didapatkan, maka dapat dilanjutkan dengan menghitung nilai $(N_1)_{60}$

$$(N_1)_{60} = N_m C_N C_E C_B C_R C_S = 1.0 \times 1.77 \times 0.85 \times 1.05 \times 0.80 \times 1.0 = 1,26$$

Maka nilai $(N_1)_{60}$ pada kedalaman 01.50 m adalah 1,26.

Untuk hasil keseluruhan perhitungan nilai $(N_1)_{60}$ BH.01 dapat dilihat pada tabel 5 dibawah ini :

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

Depth (m)	z (m)	N-SPT	C_N	C_E	C_B	C_R	C_S	$(N_1)_{60}$
01.00 - 01.50	1,50	1,0	1,77	0,85	1,05	0,80	1,00	1,26
02.00 - 02.50	2,50	1,0	1,47	0,85	1,05	0,80	1,00	1,05
03.00 - 04.50	4,50	1,0	0,95	0,85	1,05	0,85	1,00	0,72
05.00 - 06.50	6,50	2,0	0,54	0,85	1,05	0,85	1,00	0,82
07.00 - 08.50	8,50	2,0	0,31	0,85	1,05	0,95	1,00	0,52
08.50 - 10.50	10,50	3,0	0,18	0,85	1,05	0,95	1,00	0,46
11.00 - 12.50	12,50	3,0	0,12	0,85	1,05	1,00	1,00	0,31
13.00 - 14.50	14,50	2,0	0,08	0,85	1,05	1,00	1,00	0,14
15.00 - 16.50	16,50	3,0	0,05	0,85	1,05	1,00	1,00	0,15
17.00 - 18.50	18,50	2,0	0,04	0,85	1,05	1,00	1,00	0,07
19.00 - 20.50	20,50	4,0	0,03	0,85	1,05	1,00	1,00	0,11
21.00 - 22.50	22,50	3,0	0,02	0,85	1,05	1,00	1,00	0,06
23.00 - 24.50	24,50	4,0	0,02	0,85	1,05	1,00	1,00	0,07
25.00 - 26.50	26,50	3,0	0,01	0,85	1,05	1,00	1,00	0,04
27.00 - 28.50	28,50	3,0	0,01	0,85	1,05	1,00	1,00	0,03
29.00 - 30.50	30,50	2,0	0,01	0,85	1,05	1,00	1,00	0,02
31.00 - 32.50	32,50	5,0	0,01	0,85	1,05	1,00	1,00	0,04
33.00 - 34.50	34,50	9,0	0,01	0,85	1,05	1,00	1,00	0,05
35.00 - 36.50	36,50	10,0	0,01	0,85	1,05	1,00	1,00	0,05
37.00 - 38.50	38,50	9,0	0,00	0,85	1,05	1,00	1,00	0,04
39.00 - 40.50	40,50	10,0	0,00	0,85	1,05	1,00	1,00	0,04
41.00 - 42.50	42,50	9,0	0,00	0,85	1,05	1,00	1,00	0,03
43.00 - 44.50	44,50	11,0	0,00	0,85	1,05	1,00	1,00	0,03
45.00 - 46.50	46,50	10,0	0,00	0,85	1,05	1,00	1,00	0,02
47.00 - 48.50	48,50	12,0	0,00	0,85	1,05	1,00	1,00	0,03
49.00 - 50.50	50,50	14,0	0,00	0,85	1,05	1,00	1,00	0,03
51.00 - 52.50	52,50	19,0	0,00	0,85	1,05	1,00	1,00	0,03
53.00 - 54.50	54,50	21,0	0,00	0,85	1,05	1,00	1,00	0,03
55.00 - 56.50	56,50	17,0	0,00	0,85	1,05	1,00	1,00	0,02
57.00 - 58.50	58,50	23,0	0,00	0,85	1,05	1,00	1,00	0,03
59.00 - 60.50	60,50	22,0	0,00	0,85	1,05	1,00	1,00	0,02

Sumber : Hasil Perhitungan, 2023

Perhitungan Nilai $(N_1)_{60cs}$

Kedalaman = 01.00 – 01.50 m
Fines content = Kurang dari 12%
 $(N_1)_{60}$ pada kedalaman tersebut = 1,26

Pada kedalaman tersebut, diketahui bahwa tanah tersebut merupakan jenis tanah dengan dominan silt atau lanau dengan sedikit campuran lempung dan tanah pasir, maka akan digunakan Persamaan :

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left(1,63 + \frac{9,7}{FC+0,01} - \left(\frac{15,7}{FC+0,01}\right)^2\right) = \exp\left(1,63 + \frac{9,7}{12+0,01} - \left(\frac{15,7}{12+0,01}\right)^2\right)$$

$$(N_1)_{60sc} = 10,27 = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60} = 1,26 + 10,27 = 11,53$$

Maka nilai $(N_1)_{60sc}$ pada kedalaman 1.50 m adalah 11,53

Untuk hasil keseluruhan perhitungan nilai $(N_1)_{60cs}$ BH.01 dapat dilihat pada tabel 5 dibawah ini

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

Depth (m)	z (m)	$(N_1)_{60}$	Symbol	Deskripsi	Klasifikasi USCS	Fines Content (%)	Koefisien		$(N_1)_{60cs}$
							α	β	
01.00 - 01.50	1,50	1,26	SC	Pasir Berlempung	Pasir berlempung, campuran pasir	Kurang dari 12%	-	-	11,53
02.00 - 02.50	2,50	1,05							11,31
03.00 - 04.50	4,50	0,72	CL	Lempung Sedikit Berpasir	Lempung dengan kandungan sedikit pasir	Lebih dari 50%	5,00	1,20	5,87
05.00 - 06.50	6,50	0,82							5,98
07.00 - 08.50	8,50	0,52	CH	Lempung Lunak	Lempung dengan plastisitas tinggi	Lebih dari 50%	5,00	1,20	5,62
08.50 - 10.50	10,50	0,46							5,56
11.00 - 12.50	12,50	0,31	CL	Lempung Sedikit Lanau	Lempung dengan kandungan sedikit lanau	Lebih dari 50%	5,00	1,20	5,37
13.00 - 14.50	14,50	0,14							5,17
15.00 - 16.50	16,50	0,15	SM	Pasir Berlanau	Pasir berlanau, campuran pasir	Kurang dari 12%	-	-	10,41
17.00 - 18.50	18,50	0,07							10,34
19.00 - 20.50	20,50	0,11	OL	Organik Busukan Kayu	Organik dengan plastisitas rendah	Lebih dari 50%	-	-	6,27
21.00 - 22.50	22,50	0,06							6,22
23.00 - 24.50	24,50	0,07							5,08
25.00 - 26.50	26,50	0,04	CL	Lempung Berpasir	Lempung mengandung pasir	Lebih dari 50%	5,00	1,20	1,40
27.00 - 28.50	28,50	0,03							5,04
29.00 - 30.50	30,50	0,02	CH	Lempung Lunak	Lempung dengan plastisitas tinggi	Lebih dari 50%	5,00	1,20	5,02
31.00 - 32.50	32,50	0,04	CH	Lempung Lunak	Lempung dengan plastisitas tinggi	Lebih dari 50%	5,00	1,20	5,04
33.00 - 34.50	34,50	0,05							5,07
35.00 - 36.50	36,50	0,05	CL	Lempung Berlanau	Lempung mengandung lanau	Lebih dari 50%	5,00	1,20	5,06
37.00 - 38.50	38,50	0,04							5,05
39.00 - 40.50	40,50	0,04							4,00
41.00 - 42.50	42,50	0,03	C	Lempung	Lempung	Kurang dari 5%	0,00	1,00	0,03
43.00 - 44.50	44,50	0,03							1,00
45.00 - 46.50	46,50	0,02	CL	Lempung Berlanau	Lempung mengandung lanau	Lebih dari 50%	5,00	1,20	5,03
47.00 - 48.50	48,50	0,03							5,03
49.00 - 50.50	50,50	0,03	CL	Lempung Berpasir	Lempung mengandung pasir	Lebih dari 50%	5,00	1,20	5,03
51.00 - 52.50	52,50	0,03							5,04
53.00 - 54.50	54,50	0,03	CL	Lempung Berlanau	Lempung mengandung lanau	Lebih dari 50%	5,00	1,20	5,03
55.00 - 56.50	56,50	0,02							5,03
57.00 - 58.50	58,50	0,03	CL	Lempung Berlanau	Lempung mengandung lanau	Lebih dari 50%	5,00	1,20	5,03
59.00 - 60.50	60,50	0,02							5,03

Sumber : Hasil Perhitungan, 2023

Perhitungan Stress Reduction Factor BH.01

Kedalaman = 01.00 – 01.50 m
Kedalaman yang akan ditinjau = 1.50 m
Karena kedalaman lapisan tanah masih dibawah 9.15 m, maka digunakan Persamaan:

$$r_d = 1 - (0.00765) \times (z) = 1 - (0.00765) \times 1.50 = 0,989$$

Maka nilai r_d pada kedalaman 1.50 m adalah 0,989

Untuk hasil keseluruhan perhitungan nilai Stress Reduction Factor BH.01 dapat dilihat pada tabel 7 dibawah ini :

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

Depth (m)	z (m)	α	β	rd
01.00 - 01.50	1,50	-0,051	0,006	0,989
02.00 - 02.50	2,50	-0,105	0,012	0,981
03.00 - 04.50	4,50	-0,231	0,026	0,966
05.00 - 06.50	6,50	-0,380	0,043	0,950
07.00 - 08.50	8,50	-0,547	0,061	0,935
08.50 - 10.50	10,50	-0,728	0,081	0,894
11.00 - 12.50	12,50	-0,917	0,102	0,840
13.00 - 14.50	14,50	-1,109	0,123	0,787
15.00 - 16.50	16,50	-1,298	0,143	0,733
17.00 - 18.50	18,50	-1,478	0,162	0,680
19.00 - 20.50	20,50	-1,645	0,180	0,627
21.00 - 22.50	22,50	-1,794	0,195	0,573
23.00 - 24.50	24,50	-1,920	0,207	0,548
25.00 - 26.50	26,50	-2,020	0,216	0,532
27.00 - 28.50	28,50	-2,091	0,222	0,516
29.00 - 30.50	30,50	-2,130	0,224	0,500
33.00 - 34.50	34,50	-2,111	0,217	0,500
35.00 - 36.50	36,50	-2,053	0,208	0,500
37.00 - 38.50	38,50	-1,965	0,196	0,500
39.00 - 40.50	40,50	-1,850	0,181	0,500
41.00 - 42.50	42,50	-1,710	0,164	0,500
43.00 - 44.50	44,50	-1,550	0,145	0,500
45.00 - 46.50	46,50	-1,374	0,125	0,500
47.00 - 48.50	48,50	-1,188	0,104	0,500
49.00 - 50.50	50,50	-0,997	0,083	0,500
51.00 - 52.50	52,50	-0,806	0,063	0,500
53.00 - 54.50	54,50	-0,621	0,044	0,500
55.00 - 56.50	56,50	-0,448	0,028	0,500
57.00 - 58.50	58,50	-0,291	0,013	0,500
59.00 - 60.50	60,50	-0,154	0,002	0,500

Sumber : Hasil Perhitungan, 2023

Perhitungan CSR Berdasarkan Desain Spektra Indonesia PuskimPU

- Kedalaman = 01.00 – 01.50 m
- Kedalaman yang ditinjau = 01.50 m
- α_{max} = 0,2786 g
- g = 9,81 g
- $\sigma'v$ = 4,19 kN/m²
- σv = 18,90 kN/m²
- rd = 0,989

Rumus *cyclic stress ratio*, digunakan persamaan:

$$CSR = 0.65 \times \frac{\alpha_{max}}{g} \times \frac{\sigma v}{\sigma'v} \times rd$$

$$= 0.65 \times \frac{0,2786}{9,81} \times \frac{18,90}{4,19} \times 0,989$$

$$= 0,08241$$

Untuk hasil keseluruhan perhitungan nilai *cyclic stress ratio* (CSR) BH.01 dapat dilihat pada tabel 8 dibawah ini :

Tabel 8. Hasil Perhitungan CSR Pada BH.01

Depth (m)	z (m)	α_{max}	g	σv (kN/m ²)	$\sigma'v$ (kN/m ²)	rd	CSR
01.00 - 01.50	1,50	0,2786	9,81	18,90	4,19	0,989	0,08241
02.00 - 02.50	2,50	0,2786	9,81	50,40	30,06	0,981	0,03036
03.00 - 04.50	4,50	0,2786	9,81	125,55	111,47	0,966	0,02008
05.00 - 06.50	6,50	0,2786	9,81	241,25	288,95	0,950	0,01465
07.00 - 08.50	8,50	0,2786	9,81	392,55	598,12	0,935	0,01133
08.50 - 10.50	10,50	0,2786	9,81	589,95	1085,06	0,894	0,00897
11.00 - 12.50	12,50	0,2786	9,81	824,95	1787,39	0,840	0,00716
13.00 - 14.50	14,50	0,2786	9,81	1083,05	2728,19	0,787	0,00577
15.00 - 16.50	16,50	0,2786	9,81	1342,10	3908,43	0,733	0,00465
17.00 - 18.50	18,50	0,2786	9,81	1602,95	5329,89	0,680	0,00378
19.00 - 20.50	20,50	0,2786	9,81	1957,60	7086,39	0,627	0,00320
21.00 - 22.50	22,50	0,2786	9,81	2380,60	9246,26	0,573	0,00272
23.00 - 24.50	24,50	0,2786	9,81	2804,45	11810,37	0,548	0,00240
25.00 - 26.50	26,50	0,2786	9,81	3302,65	14853,05	0,532	0,00218
27.00 - 28.50	28,50	0,2786	9,81	3838,45	18411,92	0,516	0,00199
29.00 - 30.50	30,50	0,2786	9,81	4381,35	22494,06	0,500	0,00180
31.00 - 32.50	32,50	0,2786	9,81	4953,35	27128,59	0,500	0,00169
33.00 - 34.50	34,50	0,2786	9,81	5598,50	32388,64	0,500	0,00160
35.00 - 36.50	36,50	0,2786	9,81	6233,60	38264,18	0,500	0,00150
37.00 - 38.50	38,50	0,2786	9,81	6891,95	44778,44	0,500	0,00142
39.00 - 40.50	40,50	0,2786	9,81	7661,45	52042,59	0,500	0,00136
41.00 - 42.50	42,50	0,2786	9,81	8388,20	60013,86	0,500	0,00129
43.00 - 44.50	44,50	0,2786	9,81	9247,05	68824,37	0,500	0,00124
45.00 - 46.50	46,50	0,2786	9,81	10130,55	78498,75	0,500	0,00119
47.00 - 48.50	48,50	0,2786	9,81	11081,15	89104,12	0,500	0,00115
49.00 - 50.50	50,50	0,2786	9,81	12096,20	100704,91	0,500	0,00111
51.00 - 52.50	52,50	0,2786	9,81	13114,70	113304,59	0,500	0,00107
53.00 - 54.50	54,50	0,2786	9,81	14199,25	126969,19	0,500	0,00103
55.00 - 56.50	56,50	0,2786	9,81	15272,75	141687,68	0,500	0,00099
57.00 - 58.50	58,50	0,2786	9,81	16460,30	157574,09	0,500	0,00096
59.00 - 60.50	60,50	0,2786	9,81	17676,35	174665,94	0,500	0,00093

umber : Hasil Perhitungan, 2023

Perhitungan CRR₇ Pada BH.01

- Kedalaman = 01.00 – 01.50 m
- Magnitudo = 7.0 SR
- (N₁)_{60sc} = 11,53
- σv = 18,90 kN/m²
- pa = 100 kPa

Menghitung nilai *magnituide scaling factors* (MSF):

$$MSF = 6.9 \cdot \exp \frac{-M_w}{4} - 0,058 \leq 1.8$$

$$= 6.9 \cdot \exp \frac{-7.0}{4} - 0,058 \leq 1.8$$

$$= 1,14 \leq 1.8$$

Maka nilai MSF memenuhi syarat untuk dilanjutkan perhitungan

Selanjutnya menghitung nilai fktor kerapatan relative tanah menggunakan Persamaan :

$$f = 0,831 - \frac{(N_1)_{60sc}}{160}$$

$$= 0,831 - \frac{11,53}{160}$$

$$= 0,7589$$

Maka nilai faktor kerapatan relatif tanah pada kedalaman 1.50 m adalah 0,7589

Kemudian dilanjutkan dengan menghitung nilai faktor koreksi overburden

$$K\sigma = \left(\frac{\sigma v}{pa}\right)^f$$

$$= \left(\frac{18,90}{100}\right)^{0,7589}$$

$$= 0,2824$$

Maka nilai faktor koreksi *overburden* pada kedalaman 1.50 m adalah 0,2824

Jika ketiga nilai faktor reduksi diatas telah didapatkan, maka dapat dilanjutkan dengan menghitung nilai CRR_7 menggunakan Persamaan (18).

$$\begin{aligned} CRR_7 &= CRR_{7,5} \cdot K_\sigma \cdot MSF \\ &= 0,1290 \times 0,2824 \times 1,14 \\ &= 0,0416 \end{aligned}$$

Untuk hasil keseluruhan perhitungan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR_7) BH.01 dapat dilihat pada tabel 9 dibawah ini :

Tabel 9. Hasil Perhitungan CRR_7 Pada BH.01

Depth (m)	z (m)	Magnitudo Gempa (SR)	MSF ≤ 1.8	f	K_σ	CRR_7
01.00 - 01.50	1,50	7,0	1,14	0,7589	0,2824	0,0416
02.00 - 02.50	2,50	7,0	1,14	0,7603	0,5940	0,0863
03.00 - 04.50	4,50	7,0	1,14	0,7943	1,1981	0,1247
05.00 - 06.50	6,50	7,0	1,14	0,7936	2,0116	0,2110
07.00 - 08.50	8,50	7,0	1,14	0,7959	2,9693	0,3042
08.50 - 10.50	10,50	7,0	1,14	0,7963	4,1094	0,4192
11.00 - 12.50	12,50	7,0	1,14	0,7974	5,3801	0,5420
13.00 - 14.50	14,50	7,0	1,14	0,7987	6,7049	0,6663
15.00 - 16.50	16,50	7,0	1,14	0,7659	7,3080	1,0086
17.00 - 18.50	18,50	7,0	1,14	0,7664	8,3837	1,1520
19.00 - 20.50	20,50	7,0	1,14	0,7918	10,5398	1,1264
21.00 - 22.50	22,50	7,0	1,14	0,7921	12,3170	1,3123
23.00 - 24.50	24,50	7,0	1,14	0,7993	14,3616	1,4190
25.00 - 26.50	26,50	7,0	1,14	0,8223	17,7385	1,3589
27.00 - 28.50	28,50	7,0	1,14	0,7995	18,4736	1,8203
29.00 - 30.50	30,50	7,0	1,14	0,7996	20,5429	2,0219
31.00 - 32.50	32,50	7,0	1,14	0,7995	22,6484	2,2325
33.00 - 34.50	34,50	7,0	1,14	0,7993	24,9636	2,4643
35.00 - 36.50	36,50	7,0	1,14	0,7994	27,2053	2,6849
37.00 - 38.50	38,50	7,0	1,14	0,7995	29,4898	2,9076
39.00 - 40.50	40,50	7,0	1,14	0,8248	35,8167	2,6678
41.00 - 42.50	42,50	7,0	1,14	0,8308	39,6475	2,7567
43.00 - 44.50	44,50	7,0	1,14	0,8248	41,8274	3,1155
45.00 - 46.50	46,50	7,0	1,14	0,7996	40,1448	3,9536
47.00 - 48.50	48,50	7,0	1,14	0,7996	43,1273	4,2478
49.00 - 50.50	50,50	7,0	1,14	0,7995	46,2565	4,5563
51.00 - 52.50	52,50	7,0	1,14	0,7995	49,3350	4,8617
53.00 - 54.50	54,50	7,0	1,14	0,7995	52,5715	5,1805
55.00 - 56.50	56,50	7,0	1,14	0,7996	55,7445	5,4892
57.00 - 58.50	58,50	7,0	1,14	0,7995	59,1725	5,8292
59.00 - 60.50	60,50	7,0	1,14	0,7996	62,6521	6,1700

Sumber : Hasil Perhitungan, 2023

Perhitungan CRR_8 Pada BH.01

Kedalaman = 01.00 – 01.50 m

Magnitudo = 8.0 SR

$(N_1)_{60sc}$ = 11,53

σ_v = 18,90 kN/m²

pa = 100 kPa

Menghitung nilai *magnituide scaling factors* (MSF) :

$$MSF = 6.9 \cdot \exp \frac{-M_w}{4} - 0,058 \leq 1.8$$

$$= 6.9 \cdot \exp \frac{-8.0}{4} - 0,058 \leq 1.8$$

$$= 0,88 \leq 1.8$$

Maka nilai MSF memenuhi syarat untuk dilanjutkan perhitungan

Selanjutnya menghitung nilai fktor kerapatan relative tanah

$$\begin{aligned} f &= 0,831 - \frac{(N_1)_{60sc}}{160} \\ &= 0,831 - \frac{11,53}{160} \\ &= 0,7589 \end{aligned}$$

Maka nilai faktor kerapatan relatif tanah pada kedalaman 1.50 m adalah 0,7589

Kemudian dilanjutkan dengan menghitung nilai faktor koreksi overburden

$$\begin{aligned} K_\sigma &= \left(\frac{\sigma_v}{p_a} \right)^f \\ &= \left(\frac{18,90}{100} \right)^{0,7589} \\ &= 0,2824 \end{aligned}$$

Maka nilai faktor koreksi *overburden* pada kedalaman 1.50 m adalah 0,2824

Jika ketiga nilai faktor reduksi diatas telah didapatkan, maka dapat dilanjutkan dengan menghitung nilai CRR_8

$$\begin{aligned} CRR_8 &= CRR_{7,5} \cdot K_\sigma \cdot MSF \\ &= 0,1290 \times 0,2824 \times 0,88 \\ &= 0,0319 \end{aligned}$$

Maka, nilai CRR_8 pada kedalaman 1.50 m adalah 0,0319

Untuk hasil keseluruhan perhitungan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR_8) BH.01 dapat dilihat pada tabel 10 dibawah ini :

Tabel 10. Hasil Perhitungan CRR_8 Pada BH.01

Depth (m)	z (m)	Magnitudo Gempa (SR)	MSF ≤ 1.8	f	K_σ	CRR_8
01.00 - 01.50	1,5	8,0	0,88	0,7589	0,2824	0,0319
02.00 - 02.50	2,5	8,0	0,88	0,7603	0,5940	0,0663
03.00 - 04.50	4,5	8,0	0,88	0,7943	1,1981	0,0957
05.00 - 06.50	6,5	8,0	0,88	0,7936	2,0116	0,1619
07.00 - 08.50	8,5	8,0	0,88	0,7959	2,9693	0,2335
08.50 - 10.50	10,5	8,0	0,88	0,7963	4,1094	0,3217
11.00 - 12.50	12,5	8,0	0,88	0,7974	5,3801	0,4160
13.00 - 14.50	14,5	8,0	0,88	0,7987	6,7049	0,5114
15.00 - 16.50	16,5	8,0	0,88	0,7659	7,3080	0,7741
17.00 - 18.50	18,5	8,0	0,88	0,7664	8,3837	0,8843
19.00 - 20.50	20,5	8,0	0,88	0,7918	10,5398	0,8645
21.00 - 22.50	22,5	8,0	0,88	0,7921	12,3170	1,0073
23.00 - 24.50	24,5	8,0	0,88	0,7993	14,3616	1,0892
25.00 - 26.50	26,5	8,0	0,88	0,8223	17,7385	1,0430
27.00 - 28.50	28,5	8,0	0,88	0,7995	18,4736	1,3972
29.00 - 30.50	30,5	8,0	0,88	0,7996	20,5429	1,5519
31.00 - 32.50	32,5	8,0	0,88	0,7995	22,6484	1,7135
33.00 - 34.50	34,5	8,0	0,88	0,7993	24,9636	1,8915
35.00 - 36.50	36,5	8,0	0,88	0,7994	27,2053	2,0608
37.00 - 38.50	38,5	8,0	0,88	0,7995	29,4898	2,2317
39.00 - 40.50	40,5	8,0	0,88	0,8248	35,8167	2,0477
41.00 - 42.50	42,5	8,0	0,88	0,8308	39,6475	2,1160
43.00 - 44.50	44,5	8,0	0,88	0,8248	41,8274	2,3914
45.00 - 46.50	46,5	8,0	0,88	0,7996	40,1448	3,0346
47.00 - 48.50	48,5	8,0	0,88	0,7996	43,1273	3,2604
49.00 - 50.50	50,5	8,0	0,88	0,7995	46,2565	3,4972
51.00 - 52.50	52,5	8,0	0,88	0,7995	49,3350	3,7317
53.00 - 54.50	54,5	8,0	0,88	0,7995	52,5715	3,9763
55.00 - 56.50	56,5	8,0	0,88	0,7996	55,7445	4,2133
57.00 - 58.50	58,5	8,0	0,88	0,7995	59,1725	4,4742

Perhitungan Factor of Safety

Perhitungan *factor of safety* dengan magnitudo 7.0 SR

Kedalaman = 01.00 – 01.50

CSR = 0,0444

CRR₇ = 0,0416

Digunakan Persamaan, yaitu :

$$FS = \frac{CRR}{CSR} = \frac{0,0416}{0,0444} = 0,9368 \leq 1$$

(Mengalami likuifaksi)

Untuk hasil keseluruhan perhitungan *Factor of Safety* (CRR₇) BH.01 dapat dilihat pada tabel 11 dibawah ini :

Tabel 11. Hasil Perhitungan *Factor of Safety* Dengan Magnitudo 7.0 SR Pada BH.01

Depth (m)	z (m)	CSR	CRR ₇	FS ₇	Keterangan
01.00 - 01.50	1,50	0,0444	0,0416	0,9368	Mengalami Likuifaksi
02.00 - 02.50	2,50	0,0163	0,0863	5,2825	Tidak Mengalami Likuifaksi
03.00 - 04.50	4,50	0,0108	0,1247	11,5381	Tidak Mengalami Likuifaksi
05.00 - 06.50	6,50	0,0079	0,2110	26,7550	Tidak Mengalami Likuifaksi
07.00 - 08.50	8,50	0,0061	0,3042	49,8797	Tidak Mengalami Likuifaksi
08.50 - 10.50	10,50	0,0048	0,4192	86,8011	Tidak Mengalami Likuifaksi
11.00 - 12.50	12,50	0,0039	0,5420	140,6280	Tidak Mengalami Likuifaksi
13.00 - 14.50	14,50	0,0031	0,6663	214,6275	Tidak Mengalami Likuifaksi
15.00 - 16.50	16,50	0,0025	1,0086	402,9202	Tidak Mengalami Likuifaksi
17.00 - 18.50	18,50	0,0020	1,1520	566,7447	Tidak Mengalami Likuifaksi
19.00 - 20.50	20,50	0,0017	1,1264	654,6611	Tidak Mengalami Likuifaksi
21.00 - 22.50	22,50	0,0015	1,3123	894,6330	Tidak Mengalami Likuifaksi
23.00 - 24.50	24,50	0,0013	1,4190	1097,2020	Tidak Mengalami Likuifaksi
25.00 - 26.50	26,50	0,0012	1,3589	1155,8074	Tidak Mengalami Likuifaksi
27.00 - 28.50	28,50	0,0011	1,8203	1702,5758	Tidak Mengalami Likuifaksi
29.00 - 30.50	30,50	0,0010	2,0219	2088,8658	Tidak Mengalami Likuifaksi
31.00 - 32.50	32,50	0,0009	2,2325	2460,4006	Tidak Mengalami Likuifaksi
33.00 - 34.50	34,50	0,0009	2,4643	2868,8551	Tidak Mengalami Likuifaksi
35.00 - 36.50	36,50	0,0008	2,6849	3316,4649	Tidak Mengalami Likuifaksi
37.00 - 38.50	38,50	0,0008	2,9076	3801,4975	Tidak Mengalami Likuifaksi
39.00 - 40.50	40,50	0,0007	2,6678	3646,7042	Tidak Mengalami Likuifaksi
41.00 - 42.50	42,50	0,0007	2,7567	3968,9368	Tidak Mengalami Likuifaksi
43.00 - 44.50	44,50	0,0007	3,1155	4666,2427	Tidak Mengalami Likuifaksi
45.00 - 46.50	46,50	0,0006	3,9536	6164,7191	Tidak Mengalami Likuifaksi
47.00 - 48.50	48,50	0,0006	4,2478	6873,3582	Tidak Mengalami Likuifaksi
49.00 - 50.50	50,50	0,0006	4,5563	7633,2328	Tidak Mengalami Likuifaksi
51.00 - 52.50	52,50	0,0006	4,8617	8452,2941	Tidak Mengalami Likuifaksi
53.00 - 54.50	54,50	0,0006	5,1805	9321,7732	Tidak Mengalami Likuifaksi
55.00 - 56.50	56,50	0,0005	5,4892	10247,5768	Tidak Mengalami Likuifaksi
57.00 - 58.50	58,50	0,0005	5,8292	11229,2110	Tidak Mengalami Likuifaksi
59.00 - 60.50	60,50	0,0005	6,1700	12268,0083	Tidak Mengalami Likuifaksi

Sumber : Hasil Perhitungan, 2023

Perhitungan *factor of safety* dengan magnitudo 8.0 SR

Kedalaman = 01.00 – 01.50

CSR = 0,0444

CRR_{7,5} = 0,0319

Digunakan Persamaan, yaitu :

$$FS = \frac{CRR}{CSR} = \frac{0,0319}{0,0444} = 0,7191 \leq 1$$

(Mengalami likuifaksi)

Untuk hasil keseluruhan perhitungan *Factor of Safety* (CRR₈) BH.01 dapat dilihat pada tabel 12 dibawah ini :

Tabel 12. Hasil Perhitungan *Factor of Safety* Dengan Magnitudo 8.0 SR Pada BH.01

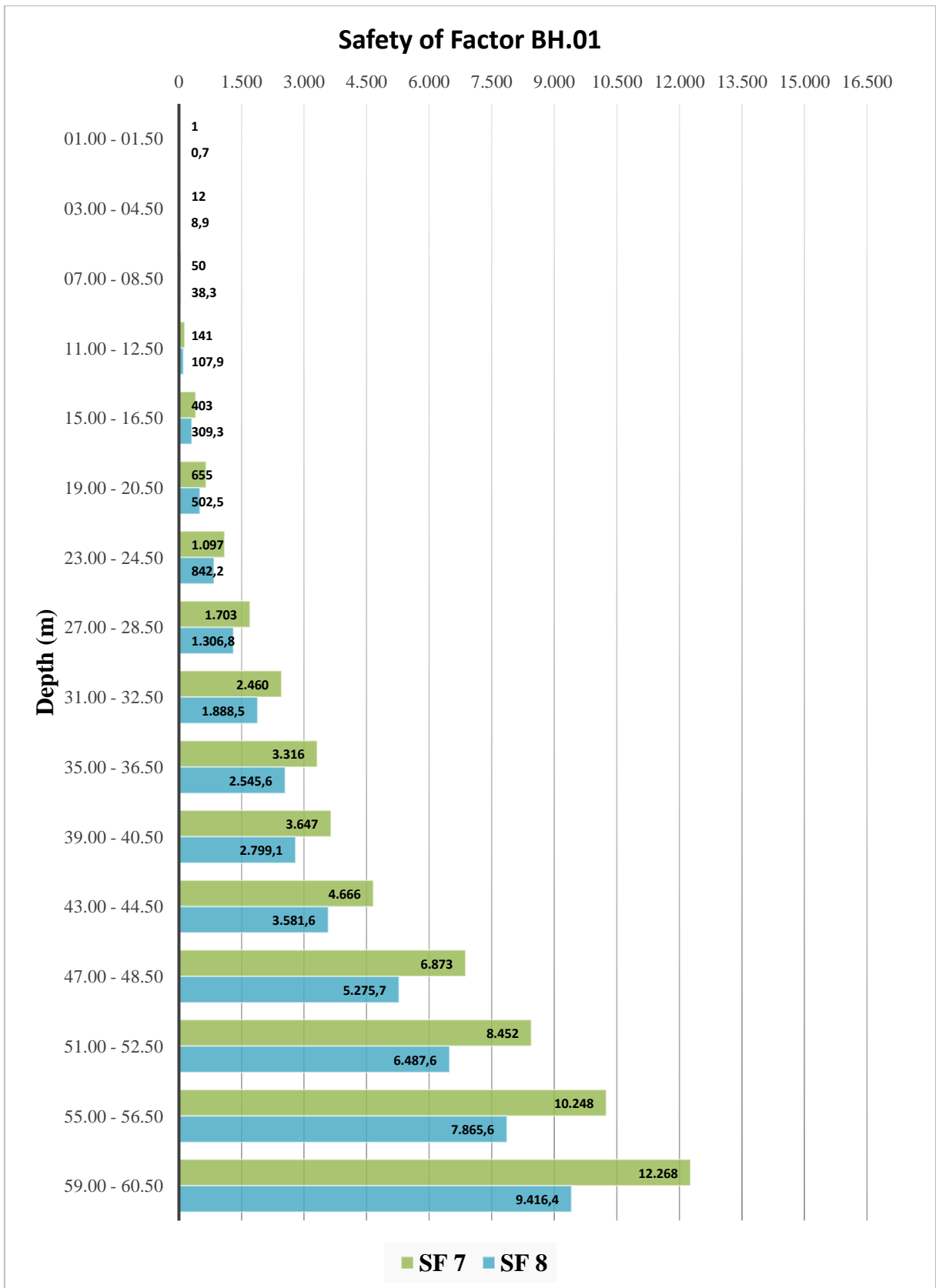
Depth (m)	z (m)	CSR	CRR ₈	FS ₈	Keterangan
01.00 - 01.50	1,50	0,0444	0,0319	0,7191	Mengalami Likuifaksi
02.00 - 02.50	2,50	0,0163	0,0663	4,0546	Tidak Mengalami Likuifaksi
03.00 - 04.50	4,50	0,0108	0,0957	8,8562	Tidak Mengalami Likuifaksi
05.00 - 06.50	6,50	0,0079	0,1619	20,5360	Tidak Mengalami Likuifaksi
07.00 - 08.50	8,50	0,0061	0,2335	38,2855	Tidak Mengalami Likuifaksi
08.50 - 10.50	10,50	0,0048	0,3217	66,6248	Tidak Mengalami Likuifaksi
11.00 - 12.50	12,50	0,0039	0,4160	107,9400	Tidak Mengalami Likuifaksi
13.00 - 14.50	14,50	0,0031	0,5114	164,7388	Tidak Mengalami Likuifaksi
15.00 - 16.50	16,50	0,0025	0,7741	309,2643	Tidak Mengalami Likuifaksi
17.00 - 18.50	18,50	0,0020	0,8843	435,0089	Tidak Mengalami Likuifaksi
19.00 - 20.50	20,50	0,0017	0,8645	502,4897	Tidak Mengalami Likuifaksi
21.00 - 22.50	22,50	0,0015	1,0073	686,6819	Tidak Mengalami Likuifaksi
23.00 - 24.50	24,50	0,0013	1,0892	842,1651	Tidak Mengalami Likuifaksi
25.00 - 26.50	26,50	0,0012	1,0430	887,1482	Tidak Mengalami Likuifaksi
27.00 - 28.50	28,50	0,0011	1,3972	1306,8240	Tidak Mengalami Likuifaksi
29.00 - 30.50	30,50	0,0010	1,5519	1603,3237	Tidak Mengalami Likuifaksi
31.00 - 32.50	32,50	0,0009	1,7135	1888,4978	Tidak Mengalami Likuifaksi
33.00 - 34.50	34,50	0,0009	1,8915	2202,0100	Tidak Mengalami Likuifaksi
35.00 - 36.50	36,50	0,0008	2,0608	2545,5760	Tidak Mengalami Likuifaksi
37.00 - 38.50	38,50	0,0008	2,2317	2917,8662	Tidak Mengalami Likuifaksi
39.00 - 40.50	40,50	0,0007	2,0477	2799,0535	Tidak Mengalami Likuifaksi
41.00 - 42.50	42,50	0,0007	2,1160	3046,3854	Tidak Mengalami Likuifaksi
43.00 - 44.50	44,50	0,0007	2,3914	3581,6075	Tidak Mengalami Likuifaksi
45.00 - 46.50	46,50	0,0006	3,0346	4731,7736	Tidak Mengalami Likuifaksi
47.00 - 48.50	48,50	0,0006	3,2604	5275,6945	Tidak Mengalami Likuifaksi
49.00 - 50.50	50,50	0,0006	3,4972	5858,9416	Tidak Mengalami Likuifaksi
51.00 - 52.50	52,50	0,0006	3,7317	6487,6179	Tidak Mengalami Likuifaksi
53.00 - 54.50	54,50	0,0006	3,9763	7154,9927	Tidak Mengalami Likuifaksi
55.00 - 56.50	56,50	0,0005	4,2133	7865,5998	Tidak Mengalami Likuifaksi
57.00 - 58.50	58,50	0,0005	4,4742	8619,0600	Tidak Mengalami Likuifaksi
59.00 - 60.50	60,50	0,0005	4,7358	9416,3962	Tidak Mengalami Likuifaksi

Sumber : Hasil Perhitungan, 2023

Berdasarkan dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya mengenai perhitungan *factor of safety* menggunakan metode Desain Spektra Puskim PU dapat dilihat pada Tabel 9 untuk magnitudo 7.0 SR, Tabel 10 untuk magnitudo 8.0 SR,

Keseluruhan hasil perhitungan *factor of safety* pada BH.01 tersebut dapat digabungkan menjadi suatu grafik. Dari pembacaan grafik tersebut kemudian dapat dilihat nilai kemanaan tanah jika terjadi gempa dengan magnitudo 7.0 SR dan 8.0 SR. Nilai *factor of safety* tentunya sangat penting dalam merencanakan struktur pondasi dikarenakan nilai tersebut menunjukkan seberapa kuat suatu titik atau kedalaman tanah dapat bertahan dari beban siklik atau beban gempa.

Hasil perhitungan *factor of safety* berdasarkan pembacaan grafik dapat dilihat pada Gambar 1 berdasarkan Desain Spektra Indonesia Puskim PU.



Gambar 1. Factor of Safety Pada BH.01 Berdasarkan Puskim PU

Berdasarkan perhitungan-perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, didapatkan kesimpulan mengenai perhitungan pada titik BH.01 yaitu sebagai berikut :

1. Pada kedalama 01.00 – 01.50 m didapatkan nilai tegangan vertikal efektif tanah yaitu 4,19 kN/m² dan nilai tegangan vertikal tanah yaitu 18,90 kN/m²
2. Pada kedalaman 01.00 – 01.50 m didapatkan hasil perhitungan (N₁)₆₀ yaitu 1,26 dan nilai (N₁)_{60cs} sebesar 11,53.
3. Digunakan nilai referensi PGA yaitu berdasarkan Puskim PU dengan nilai PGA 0,2786 g
4. Dari hasil perhitungan pada kedalaman 01.00 – 01.50 m didapatkan nilai *stress reduction factor* (rd) yaitu 0,989
5. Dari hasil perhitungan pada kedalaman 01.00 – 01.50 m menggunakan nilai referensi Puskim PU nilai *cyclic stress ratio* (CSR) adalah 0.08241
6. Dari hasil perhitungan pada kedalaman 01.00 – 01.50 m, didapatkan nilai *cyclic resistance ratio* (CRR) pada magnitudo 7.0 SR yaitu 0,0416, dan pada magnitudo 8.0 SR yaitu 0,7191
7. Berdasarkan hasil keseluruhan perhitungan, didapatkan nilai *factor of safety* pada kedalaman 01.00 – 01.50 m menggunakan nilai referensi PGA Puskim PU dengan magnitudo dengan magnitudo 7.0 SR yaitu 0,5044, dengan magnitudo, dan dengan magnitudo 8.0 SR yaitu 0,3871

Secara umum, ringkasan hasil pembahasan keseluruhan perhitungan pada titik BH.01 dapat dilihat pada Tabel 13 di bawah ini.

Tabel 13. Ringkasan Hasil Perhitungan Analisis Potensi Likuifaksi Pada Proyek Reklamasi Belawan Phase-1

Referensi <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA)	Magnitudo Gempa (SR)	Titik Bore Hole
		BH.01
Puskim PU PGA = 0,2786 g	7.0 SR	Mengalami Likuifaksi pada kedalaman 01.00 – 01.50 m
	8.0 SR	Mengalami Likuifaksi pada kedalaman 01.00 – 01.50 m

Setelah dilakukannya perhitungan menggunakan referensi Puskim PU didapatkan, hanya pada kedalaman 01.00 – 01.50 di BH.01 dengan magnitudo 7.0 SR, dan 8.0 SR yang berpotensi terjadinya likuifaksi.

Hal tersebut dapat terjadi karena nilai N-SPT pada lapisan tanah dibawahnya termasuk tinggi sehingga tanah tersebut tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Pada proses perhitungan, didapatkan bahwa semakin dalam lapisan tanah maka semakin besar nilai CRR, sehingga probabilitas terjadinya likuifaksi semakin kecil. Serta semakin kecil nilai r_d maka semakin kecil pula nilai CSR yang berarti potensi likuifaksinya akan semakin kecil pula.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan diatas diperoleh bahwa lapisan tanah yang mengalami likuifaksi menurut Puskim PU didapatkan pada kedalaman 01.00 – 01.50 di BH.01 dengan magnitudo, 7.0 SR dan 8.0 SR.

Terjadinya likuifaksi pada kedalaman 01.00 – 01.50 m dikarenakan lapisan tersebut berada pada lapisan tanah paling atas yang mengandung banyak pasir, sehingga memiliki daya dukung yang rendah, dan mengakibatkan potensi terjadinya likuifaksi hanya pada kedalaman 01.00 – 01.50 m.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Geologi. (2019). Atlas Zona Likuefaksi Indonesia. Retrieved from www.bgl.esdm.go.id
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT SNI 4153:2008. Badan Standarisasi Nasional.
- Bowles, J.E. 1989. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Erlangga. Jakarta.
- California Department of Transportation. (2016). USCS Classification System. *Journal of Economic Literature*. <http://doi.org/10.1257/jel.54.4.1535>
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)* (Jilid II). Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M., 2011, *Principle Of Foundation Engineering*, Edisi 7, Cengage Learning, Stamford USA.
- Fernando, N., & Prihatiningsih, A. (2019). Analisis Potensi Cyclic Mobility Pada Tanah Kohesif. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(3), 77. <http://doi.org/10.24912/jmts.v2i3.5811>
- Hardiyatmo, H.C.2002.*Mekanika Tanah I*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Idriss, I. M., & Boulanger, R. W. (2008). *Soil Liquefaction During Earthquakes* (2nd Editio). Earthquake Engineering Research Institute.

- Kusumawardani, R. (n.d.). Prosedur analisis liquefaction dengan menggunakan metode semi empiris, 1–10.
- Lonteng, C. V. D., Balamba, S., Monintja, S., & Sarajar, A. N. (2013). Analisis Potensi Likuiifikasi di PT. PLN (Persero) UIP Sulmapa PLTU 2 Sulawesi Utara 2 X 25 MW Power Plan. *Jurnal Sipil Statik*, 1(11), 705–717.
- Mase, L. Z. (2018). Studi Keandalan Metode Analisis Likuiifikasi Menggunakan SPT Akibat Gempa 8,6 Mw, 12 September 2007 di Area Pesisir Kota Bengkulu. *Jurnal Teknik Sipil*, 25(1), 53. <http://doi.org/10.5614/jts.2018.25.1.7>
- Purba, D. T. (2020). *Analisis Pengaruh Pre-Fabricated Vertical Drain Dalam Mempercepat Proses Konsolidasi Tanah Pada Proyek Perpanjangan Runway Bandar Udara Supadio, Pontianak*. Institut Teknologi Kalimantan. Retrieved from <http://repository.itk.ac.id/3906/>
- Rahmadika, A. (2019). *Analisis Potensi Likuiifikasi di Kota Medan Berdasarkan Data Hasil CPT dengan Metode Percepatan Gempa Donovan*. Universitas Brawijaya.
- Seed, H. B., and Idriss, I. M. 1982. Ground Motion and Soil Liquefaction during Earthquakes. Oakland.
- Yi, F. (2014). Esitimating Soil Fines Contents from CPT Data. *Cpt' 14*, (April). <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.1973.7127>
- Youd T.L., Idriss I.M. (2001) : Liquefaction Resistance of Soils : Summary Report From The 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, April 2001, 297-313.