

**ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN NILAI
CRR DAN CSR PADA PROYEK PEMBANGUNAN RUMAH
SAKIT HAJI MEDAN**

SKRIPSI

OLEH:

**AMRIN RIVALDO AMBARITA
218110071**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 31/3/26

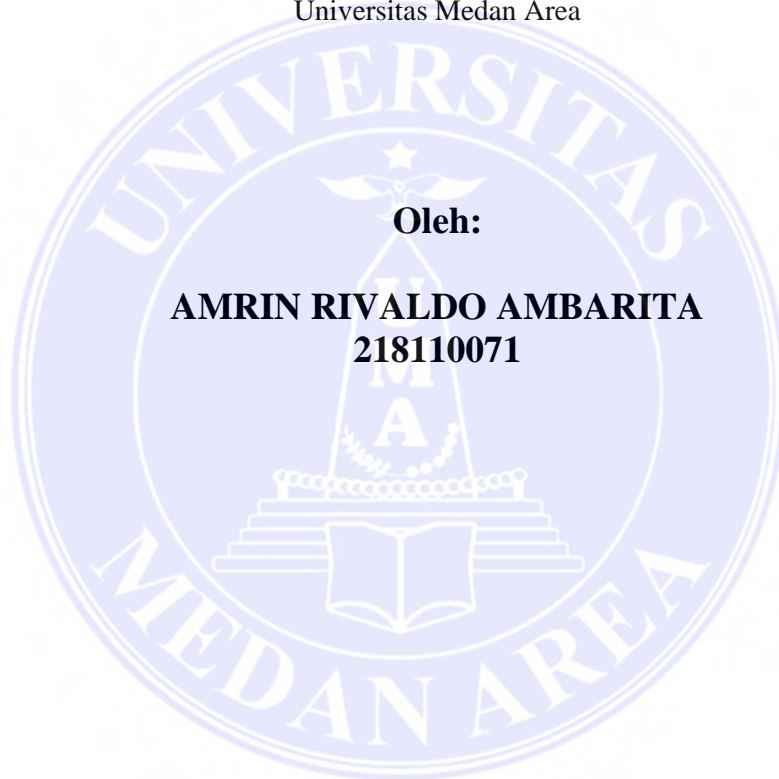
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)31/3/26

ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN NILAI CRR DAN CSR PADA PROYEK PEMBANGUNAN RUMAH SAKIT HAJI MEDAN

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area



Oleh:

**AMRIN RIVALDO AMBARITA
218110071**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA


© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

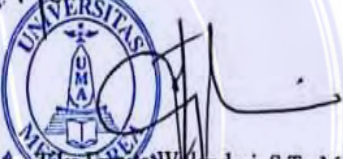
HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Nilai CRR dan CSR
Pada Pembangunan Rumah Sakit Haji Medan
Nama : Amrin Rivaldo Ambarita
NPM : 218110071
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:
Komisi Pembimbing


Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T
Pembimbing


Dr. Pons Sugianto, S.T., MT
Fakultas Teknik


Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T
Prodi. Teknik Ka. Program Studi

Tanggal Lulus : 08 September 2025

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima saksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan saksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 08 September 2025



Amrin Rivaldo Ambarita
218110071



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Amrin Rivaldo Ambarita
NPM : 218110071
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non Exclusive Royalty Free-Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Nilai CRR dan CSR Pada Pembangunan Rumah Sakit Haji Medan. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan
Pada tanggal : 08 September 2025
Yang menyatakan



(Amrin Rivaldo Ambarita)

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Balai Jaya Pada tanggal 10 Mei 2001 dari Ayah Johannes Ambarita dan Ibu Berliana Sidabutar, Penulis merupakan putra ke-3 dari 6 bersaudara. Tahun 2020 Penulis lulus dari SMAS Tunas Bangsa dan pada tahun 2021 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Proyek Pembangunan Gedung UMKM *Square* Kolaborasi Universitas Sumatera Utara.



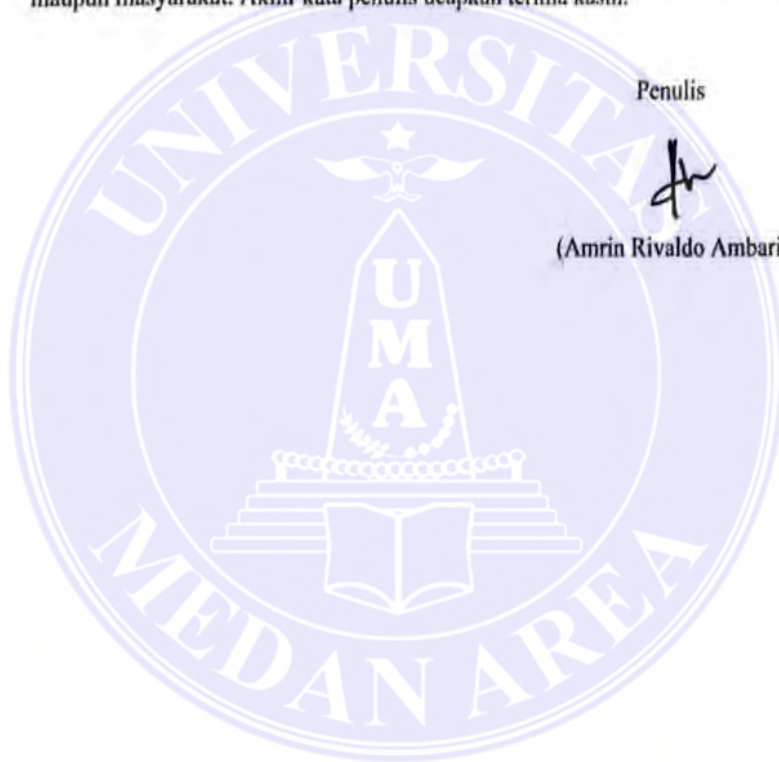
KATA PENGHANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang maha kuasa atas segala karunia-Nya sehingga Skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam skripsi ini ialah Geoteknik dengan judul "Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Nilai CRR dan CSR Pada Pembangunan Rumah Sakit Haji Medan". Terima kasih penulis sampaikan kepada Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dan Ka. Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada teman-teman teknik sipil 21 yang telah banyak membantu penulis selama penyusunan skripsi. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Ayah, Ibu serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kalangan akademik maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis



(Amrin Rivaldo Ambarita)



ABSTRAK

Likuifaksi adalah suatu peristiwa geoteknik yang terjadi ketika kondisi tanah kehilangan kekuatan dan kekakuan akibat dari getaran atau guncangan gempa bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi terjadinya likuifaksi terhadap tanah dengan kekuatan gempa magnitudo 5 SR, 5.5 SR, 6 SR, 6.5 SR, 7 SR, 7.5 SR berdasarkan nilai dari *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) menggunakan data uji lapangan Standard Penetration Test (SPT) dan data laboratorium. Hal ini membuat peneliti menjadi tertarik untuk menganalisis apakah terjadi Likuifaksi pada daerah proyek tersebut. Metode penelitian yang digunakan ialah menggunakan data primer dari SPT dan data laboratorium proyek, kemudian data sekunder menggunakan data dari *website* Desain Spektra Puskim PU untuk mengetahui nilai PGA. Metode perhitungan analisis potensi likuifaksi menggunakan metode *Young-Idriss* dan metode *Idriss Boulanger*. Dari hasil analisis perhitungan untuk kondisi lapisan tanah pada bore hole 1 dengan magnitudo 5 SR mengalami satu potensi terjadinya likuifaksi yaitu pada lapisan tanah satu dengan kedalaman 1.45 m dengan nilai $FS = 0.52$, untuk magnitudo 5.5 SR, 6 SR, 6.5 SR dan 7 SR mengalami dua potensi terjadinya likuifaksi yang sama yaitu pada lapisan tanah satu dan dua dengan kedalaman 1.45 m dan 3.45 m, Untuk nilai faktor keamanannya yaitu $FS_{5.5} = 0.48$ dan 0.95 , $FS_6 = 0.42$ dan 0.84 , $FS_{6.5} = 0.37$ dan 0.73 , $FS_7 = 0.33$ dan 0.64 , untuk magnitudo 7.5 SR tidak mengalami potensi terjadinya likuifaksi, Untuk kondisi lapisan tanah pada bore hole 2 dengan magnitudo 7 SR dan 6.5 SR tidak ada yang mengalami terjadinya potensi likuifaksi namun terdapat kondisi kritis dengan nilai $FS = 1$ pada lapisan tanah satu dan dua dengan kedalaman 1.45 m dan 3.45 m, Untuk magnitudo 5 SR, 5.5 SR, 6 SR, dan 7.5 SR tidak ada mengalami potensi terjadinya likuifaksi.

Kata kunci : Likuifaksi, *Cyclic Stress Ratio* (CSR), *Cyclic Resistance Ratio* (CRR), Bore Hole, Desain Spektra Puskim PU

ABSTRACT

Liquefaction is a geotechnical phenomenon that occurs when soil conditions lose strength and stiffness due to vibrations or shocks from an earthquake. This research aims to determine the potential for liquefaction to occur in soil with earthquake strength magnitudes of 5 SR, 5.5 SR, 6 SR, 6.5 SR, 7 SR, 7.5 SR based on the values of Cyclic Stress Ratio (CSR) and Cyclic Resistance Ratio (CRR) using field test data from the Standard Penetration Test (SPT) and laboratory data. This makes the researcher interested in analyzing whether liquefaction occurs in the project area. The research method that used was using primary data from SPT and project laboratory data, then secondary data using data from the website of Desain Spektra Puskim PU to determine the PGA value. The calculation method for liquefaction potential analysis used the Young-Idriss method and the Idriss Boulanger method. From the results of the calculation analysis for soil layer conditions at bore hole 1 with magnitude 5 SR, one liquefaction potential occurred, namely in the first soil layer at a depth of 1.45 m with a value of $FS = 0.52$, for magnitudes 5.5 SR, 6 SR, 6.5 SR and 7 SR two similar liquefaction potential occurrences occurred, namely in the first and second soil layers at depths of 1.45 m and 3.45 m, for the safety factor values, $FS_{5.5} = 0.48$ and 0.95 , $FS_6 = 0.42$ and 0.84 , $FS_{6.5} = 0.37$ and 0.73 , $FS_7 = 0.33$ and 0.64 , for magnitude 7.5 SR no liquefaction potential occurred. For soil layer conditions at bore hole 2 with magnitudes 7 SR and 6.5 SR, no liquefaction potential occurred, but a critical condition existed with a value of $FS = 1$ in the first and second soil layers at depths of 1.45 m and 3.45 m, for magnitudes 5 SR, 5.5 SR, 6 SR, and 7.5 SR no liquefaction potential occurred.

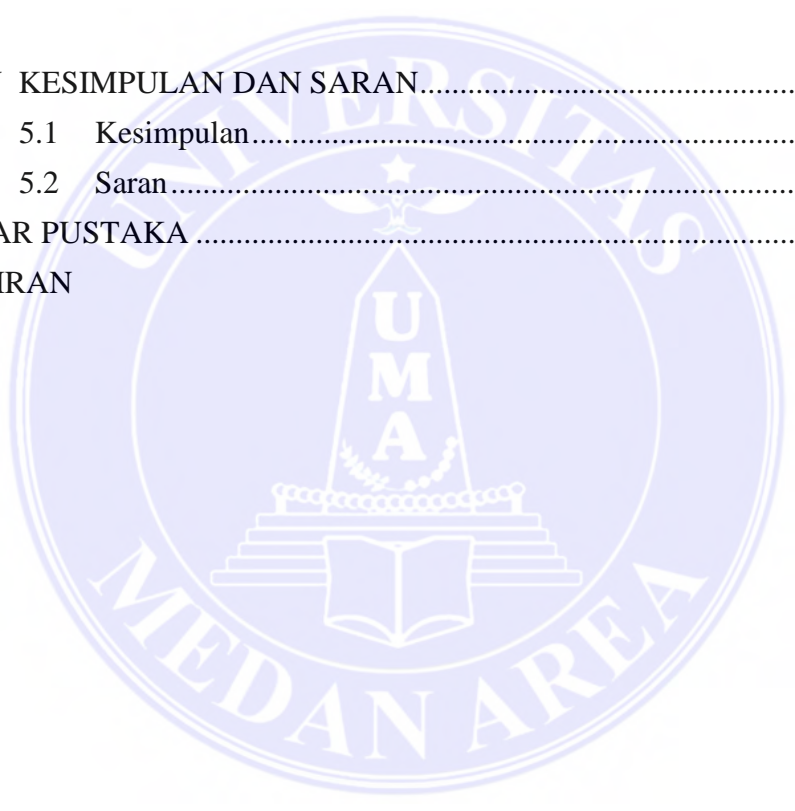
Keywords: *Liquefaction, Cyclic Stress Ratio (CSR), Cyclic Resistance Ratio (CRR), Bore Hole, Desain Spektra Puskim PU.*

DAFTAR ISI

	halaman
COVER	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRPISI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
RIWAYAT HIDUP.....	vi
KATA PENGHANTAR	vii
ABSTRAK.....	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xvi
LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	2
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Maksud Dan Tujuan Masalah.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Peneliti Terdahulu	5
2.2 Tanah	7
2.2.1 Klasifikasi Tanah	8
2.3 Likuifaksi.....	12
2.3.1 Jenis-Jenis Likuifaksi.....	13
2.3.2 Proses Terjadinya Likuifaksi	14
2.3.3 Dampak Terjadinya Likuifaksi	15
2.4 Gempa Bumi.....	16

2.4.1	Jenis-Jenis Gempa Bumi.....	17
2.4.2	Besar Kekuatan Gempa.....	18
2.4.3	Riwayat Gempa Bumi di Sumatera Utara.....	21
2.5	Parameter Identifikasi Potensi Likuifaksi.....	25
2.5.1	Tegangan Tanah.....	25
2.5.2	Nilai N-SPT, (N1)60 dan (N1)60cs.....	27
2.5.3	Percepatan Gempa Dasar (α_{max}).....	30
2.5.4	<i>Stress Reduction Factor</i> (rd).....	31
2.5.5	<i>Cyclic Stress Ratio</i> (CSR).....	32
2.5.6	<i>Cyclic Resistance Ratio</i> (CRR).....	33
2.5.7	<i>Factor of Safety</i> (FS).....	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		37
3.1	Lokasi Penelitan.....	37
3.2	Teknik Pengumpulan Data.....	37
3.2.1	Data Primer.....	38
3.2.2	Data Sekunder.....	39
3.3	Alur Perhitungan.....	40
3.4	Tahap Penelitian.....	41
3.5	Kerangka Berfikir.....	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		43
4.1	Perhitungan Tegangan Tanah.....	43
4.4.1	Perhitungan Tegangan Tanah Pada BH-1 dan BH-2.....	43
4.2	Perhitungan Nilai (N1)60 dan (N1)60cs.....	48
4.2.1	Perhitungan (N1)60 dan (N1)60cs Pada BH-1 dan BH-2.....	48
4.3	Perhitungan Nilai Percepatan Gempa Dasar (α_{max}).....	52
4.3.1	Berdasarkan Desain Spektra Indonesia Puskim PU.....	52
4.4	Perhitungan <i>Stress Reduction Factor</i> (rd).....	53
4.4.1	Perhitungan <i>Stress Reduction Factor</i> Pada BH-1 dan BH-2.....	53
4.5	Perhitungan CSR Berdasarkan Desain Spektra Indonesia Puskim PU.....	55
4.5.1	Perhitungan CSR Pada BH-1 dan BH-2.....	55

4.6	Perhitungan <i>Cyclic Resistance Ratio</i>	57
4.6.1	Perhitungan CRR 7,5, CRR 5, CRR 5,5, CRR 6, CRR 6,5, CRR 7 Pada BH-1 dan BH-2	57
4.7	Perhitungan <i>Factor Of Safety</i> (FS) Berdasarkan Desain Spektra Indonesia Puskim Pu	74
4.7.1	Perhitungan <i>Factor Of Safety</i> Pada BH-1	74
4.7.2	Perhitungan <i>Factor Of Safety</i> Pada BH-2	80
4.8	Pembahasan Hasil Perhitungan	86
4.8.1	Pembahasan Hasil Perhitungan BH-1	86
4.8.2	Pembahasan Hasil Perhitungan BH-2	90
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		93
5.1	Kesimpulan.....	93
5.2	Saran.....	93
DAFTAR PUSTAKA		94
LAMPIRAN		



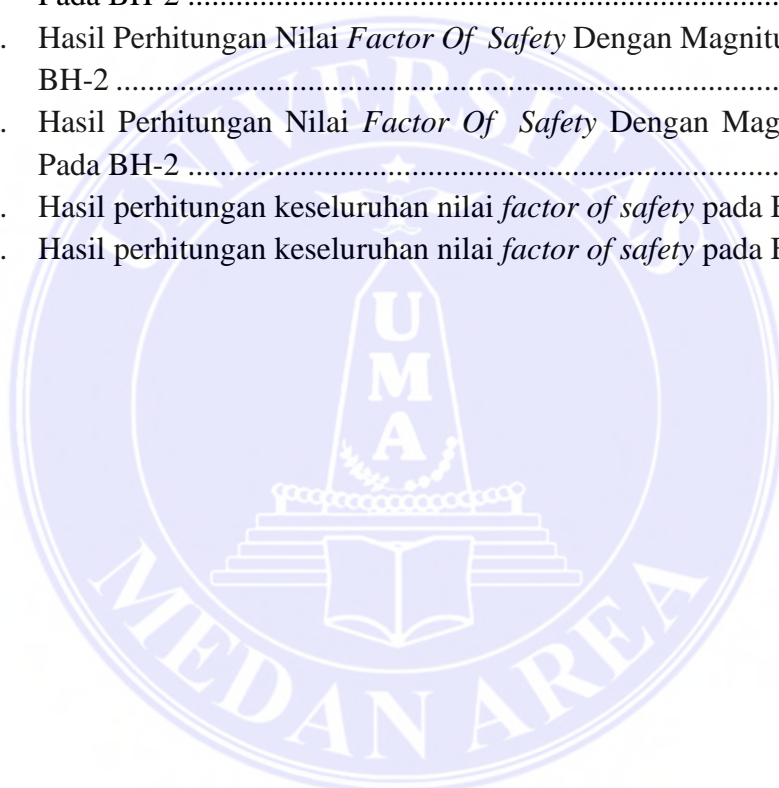
DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 1. <i>The Soil Texture Triangle</i>	9
Gambar 2. Tekstur Tanah <i>Clay, Loam, Sand, dan Silt</i>	9
Gambar 3. <i>Soil Texture Triangle</i>	10
Gambar 4. Tabel klasifikasi tanah USCS.....	12
Gambar 5. Proses peningkatan air pori karena guncangan yang mengakibatkan terjadinya likui-faksi; (a) saat menerima beban, (c) tegangan air pori meningkat dan tegangan efektif negatif (likui-faksi)	14
Gambar 6. Halaman Puskim Desain Spektra Indonesia	31
Gambar 7. Lokasi Penelitian	37
Gambar 8. Depan <i>Web</i> Desain Spektra Indonesia Puskim PU.....	40
Gambar 9. Hasil Nilai Percepatan Gempa Dasar Puskim PU	40
Gambar 10. Metode Youd-Idriss 2001 dan Idriss-Bowlanger 2008	41
Gambar 11. Bagan alir penelitian.....	42
Gambar 12. Hasil Respon Spektra Lokasi Proyek Pembangunan Rumah Sakit Haji Medan.....	52
Gambar 13. Grafik <i>factor Of safety</i> pada BH-1	88
Gambar 14. Grafik <i>factor of safety</i> pada BH-2.....	91

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 1. Jenis Gempa Tektonik Berdasarkan Kedalaman Gempa	17
Tabel 2. Skala Intensitas Gempa Bumi BMKG.....	18
Tabel 3. Magnitude Gempa dan Pengaruh Gempa.....	19
Tabel 4. Data Gempa Bumi di Sumatera Utara dalam 50 Tahun Terakhir	22
Tabel 5. Nilai Korelasi Parameter Tanah dengan N-SPT untuk Jenis Tanah Pasir (<i>Sand</i>) dan Lempung (<i>Clays</i>).....	26
Tabel 6. Faktor Koreksi Uji SPT (Skempton)	28
Tabel 7. Tabel Nilai Korelasi Hubungan antara <i>Soil Behaviour Type Index</i> (I_c),	30
Tabel 8. <i>Drilling Log</i> BH-1	38
Tabel 9. <i>Drilling Log</i> BH-2	39
Tabel 10. Hasil Perhitungan Menggunakan Data Laboratium Dan Korelasi Nilai N-SPT Pada BH-1	44
Tabel 11. Hasil Perhitungan Menggunakan Data Laboratium Dan Korelasi Nilai N-SPT Pada BH-2.....	45
Tabel 12. Hasil perhitungan total tegangan vertikal tanah, tekanan air pori tanah dan tegangan vertikal efektif tanah BH-1 dan BH-2	47
Tabel 13. Hasil Perhitunagan Nilai $(N_1)_{60}$ Pada BH-1 dan BH-2.....	49
Tabel 14. Hasil Perhitungan Nilai $(N_1)_{60cs}$ Pada BH-1 dan BH-2	51
Tabel 15. Hasil Perhitungan Nilai <i>Stress Reduction Factor</i> (r_d) Pada BH-1 dan BH-2.....	54
Tabel 16. Hasil Perhitungan <i>Cyclic Stress Rasio</i> (CSR) Pada BH-1 dan BH-2 Berdasarkan Desain Spektra Indonesia Puskim PU	56
Tabel 17. Hasil Perhitungan Nilai CRR 7,5 Pada BH-1 dan BH-2.....	58
Tabel 18. Hasil Perhitungan Nilai CRR 5 Pada BH-1 dan BH-2.....	61
Tabel 19. Hasil Perhitungan Nilai CRR 5,5 Pada BH-1 dan BH-2.....	64
Tabel 20. Hasil Perhitungan Nilai CRR 6 Pada BH-1 dan BH-2.....	67
Tabel 21. Hasil Perhitungan Nilai CRR 6,5 Pada BH-1 dan BH-2.....	70
Tabel 22. Hasil Perhitungan Nilai CRR 7 Pada BH-1 dan BH-2	73
Tabel 23. Hasil Perhitungan Nilai <i>Factor Of Safety</i> Dengan Magnitude 5 SR Pada BH-1	75
Tabel 24. Hasil Perhitungan Nilai <i>Factor Of Safety</i> Dengan Magnitude 5,5 SR Pada BH-1	76
Tabel 25. Hasil Perhitungan Nilai <i>Factor Of Safety</i> Dengan Magnitude 6 SR Pada BH-1	77
Tabel 26. Hasil Perhitungan Nilai <i>Factor Of Safety</i> Dengan Magnitude 6,5 SR Pada BH-1	78

Tabel 27.	Hasil Perhitungan Nilai <i>Factor Of Safety</i> Dengan Magnitude 7 SR Pada BH-1	79
Tabel 28.	Hasil Perhitungan Nilai <i>Factor Of Safety</i> Dengan Magnitude 7,5 SR Pada BH-1	80
Tabel 29.	Hasil Perhitungan Nilai <i>Factor Of Safety</i> Dengan Magnitude 5 SR Pada BH-2	81
Tabel 30.	Hasil Perhitungan Nilai <i>Factor Of Safety</i> Dengan Magnitude 5,5 SR Pada BH-2	82
Tabel 31.	Hasil Perhitungan Nilai <i>Factor Of Safety</i> Dengan Magnitude 6 SR Pada BH-2	83
Tabel 32.	Hasil Perhitungan Nilai <i>Factor Of Safety</i> Dengan Magnitude 6,5 SR Pada BH-2	84
Tabel 33.	Hasil Perhitungan Nilai <i>Factor Of Safety</i> Dengan Magnitude 7 SR Pada BH-2	85
Tabel 34.	Hasil Perhitungan Nilai <i>Factor Of Safety</i> Dengan Magnitude 7,5 SR Pada BH-2	86
Tabel 35.	Hasil perhitungan keseluruhan nilai <i>factor of safety</i> pada BH-1	87
Tabel 36.	Hasil perhitungan keseluruhan nilai <i>factor of safety</i> pada BH-2.....	90



DAFTAR NOTASI

σ_v	= Tegangan vertikal total tanah
σ'_v	= Tegangan vertikal efektif tanah
γ	= Berat isi lapisan tanah
z	= Kedalaman tanah yang ditinjau
μ	= Tekanan air pori tanah
γ_w	= Berat volume air
$(N1)_{60}$	= Nilai SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh efisiensi tenaga 60%
$(N1)_{60cs}$	= Nilai SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh <i>finer content</i>
N_m	= Nilai N-SPT yang diperoleh dari pengujian lapangan
C_N	= Faktor normalisasi N_m terhadap tegangan <i>overburden</i> pada umumnya
C_E	= Koreksi rasio energi <i>hammer</i>
C_B	= Koreksi untuk diameter lubang bor
C_R	= Faktor koreksi dari panjang batang
C_S	= Koreksi untuk sampel
p_a	= Tegangan atmosfer 100 kPa
F_C	= <i>Fines content</i>
r_d	= Faktor reduksi terhadap tegangan
CSR	= Tegangan siklik yang menyebabkan likuifaksi
α_{max}	= Percepatan gempa dasar
g	= Percepatan gravitasi bumi

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Bore Log 1 Pada Proyek Pembangunan Rumah Sakir Haji Medan.....	96
lampiran 2 Data Bore Log 1 Pada Proyek Pembangunan Rumah Sakir Haji Medan	98
lampiran 3 Data <i>Grain Size Analysis</i> Pada BH-1	100
lampiran 4 Data <i>Grain Size Analysis</i> Pada BH-2.....	102
lampiran 5 <i>unconsolidated undrained triaxial test</i> BH-1	103
lampiran 6 <i>unconsolidated undrained triaxial test</i> BH-2	104
lampiran 7 Denah lokasi titik pengujian RS haji	105



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang dikenal sebagai zona seismik aktif dengan frekuensi gempa bumi yang tinggi. Salah satu dampak serius dari gempa bumi adalah likuifaksi. Likuifaksi adalah suatu peristiwa geoteknik yang terjadi ketika kondisi tanah kehilangan kekuatan dan kekakuan akibat dari getaran atau guncangan gempa bumi yang mengakibatkan tanah yang bermula padat berubah menjadi cair, Akibatnya menyebabkan terjadinya kemiringan struktur, amblasnya fondasi, dan bahkan keruntuhan total bangunan.

Kajian likuifaksi sangat penting, khususnya di wilayah dengan kepadatan penduduk tinggi dan aktivitas pembangunan yang pesat, seperti Kota Medan. Kota Medan juga termasuk wilayah dengan risiko gempa sedang hingga tinggi. Berdasarkan data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), beberapa gempa signifikan pernah terjadi di wilayah Medan dan sekitarnya, seperti gempa tektonik berkekuatan Magnitudo 5.6 pada tahun 2004 dan Magnitudo 5.3 pada tahun 2017 yang dirasakan cukup kuat dan menimbulkan kepanikan masyarakat dan kerusakan serius. Dampak dari likuifaksi dapat menimbulkan kerugian besar, baik secara struktural maupun finansial. Contoh nyata dapat dilihat pada peristiwa gempa bumi Yogyakarta tahun 2006 dengan magnitudo 6,3. Gempa tersebut tidak hanya mengakibatkan kerusakan parah pada bangunan di wilayah Bantul dan sekitarnya, tetapi juga memicu terjadinya likuifaksi pada lapisan tanah berpasir jenuh air di beberapa daerah dekat aliran sungai. Fenomena tersebut

memperparah kerusakan, ditandai dengan amblasnya fondasi serta munculnya semburan pasir di permukaan tanah. Kejadian ini menunjukkan bahwa likuifaksi merupakan ancaman serius yang dapat memperburuk dampak gempa bumi. Oleh karena itu, analisis terhadap potensi likuifaksi menjadi hal yang krusial dalam tahapan perencanaan teknik sipil, khususnya pada proyek-proyek vital seperti pembangunan rumah sakit yang harus tetap beroperasi dalam kondisi darurat sekalipun.

Proyek pembangunan Rumah Sakit Haji Medan merupakan proyek strategis dengan fungsi pelayanan publik berskala besar. Mengingat pentingnya kestabilan struktur bangunan rumah sakit serta kondisi tanah yang secara umum memiliki muka air tanah dangkal dan tersusun oleh lapisan pasir lepas di beberapa lokasi, maka perlu dilakukan kajian mendalam terhadap potensi likuifaksi pada lokasi proyek.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi terjadinya likuifaksi terhadap tanah dengan kekuatan gempa magnitudo 5 SR, 5.5 SR, 6 SR, 6.5 SR, 7 SR, 7.5 SR berdasarkan nilai dari *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) menggunakan data uji lapangan *Standard Penetration Test* (SPT) dan data laboratorium. Nilai CSR mencerminkan tingkat tegangan tanah akibat beban gempa, sedangkan CRR menunjukkan kapasitas tanah untuk menahan likuifaksi akibat gempa. Dengan membandingkan kedua nilai tersebut, maka diperoleh nilai Faktor Keamanan (FS) terhadap likuifaksi yang menjadi dasar untuk menilai apakah tanah di lokasi tersebut aman untuk mendukung struktur bangunan rumah sakit.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi potensi likuifaksi pada lapisan tanah?
2. Apakah terdapat potensi likuifaksi pada lapisan tanah berdasarkan hasil perhitungan nilai CRR dan CSR pada hasil nilai faktor keamanan (FS) apabila terjadi gempa dengan magnitudo 5 SR, 6.5 SR, 6.5 SR, 7 SR, dan 7,5 SR?

1.3 Maksud Dan Tujuan Masalah

Maksud dari penelitian ini adalah Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi potensi likuifaksi pada lapisan tanah dan Menganalisis potensi likuifaksi pada lapisan tanah berdasarkan hasil perhitungan nilai CRR dan CSR pada hasil nilai faktor keamanan (FS) apabila terjadi gempa dengan magnitudo 5 SR, 5.5 SR, 6 SR 6.5 SR, 7 SR, dan 7,5 SR.

Sedangkan tujuannya yaitu untuk mengetahui kedalaman lapisan tanah yang akan beresiko terjadinya potensi likuifaksi dan yang tidak terjadinya potensi likuifaksi dengan magnitudo 5 SR , 5 .5 SR, 6 SR, 6.5 SR, 7 SR, dan 7.5 SR.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat secara praktis yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan pembaca tentang potensi likuifaksi yang terjadi di Indonesia.
2. Menambah pengetahuan mengenai penyebab terjadinya likuifaksi.
3. Dapat berfungsi sebagai rujukan atau referensi bagi instansi atau perusahaan terkait yang memerlukan informasi mengenai potensi likuifaksi di Kota Medan.
4. Dapat juga menjadi sumber rujukan atau referensi dalam diskusi yang sama mengenai likuifaksi, khususnya untuk mahasiswa/i fakultas teknik serta pihak lain yang membutuhkan

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang serta rumusan masalah yang telah disebutkan, perlu ditetapkan batasan masalah untuk mencegah perluasan pembahasan atau isu dalam penelitian ini. Dalam penelitian ini, fokus pembahasan akan dibatasi pada:

1. Data yang digunakan berupa hasil uji tanah dari titik bor (bore hole) berdasarkan data bore log proyek Pembangunan Rumah Sakit Haji Medan.
2. Analisis difokuskan pada potensi likuifaksi dengan menggunakan parameter *Cyclic Stress Ratio* (CSR), *Cyclic Resistance Ratio* (CRR), dan Faktor Keamanan (FS), tanpa membahas penurunan tanah (*settlement*) maupun aspek geoteknik lainnya.
3. Nilai percepatan gempa dasar (a_{max}) yang digunakan didasarkan pada website Desain Spektra Indonesia Puskim PU.
4. Magnitudo gempa yang akan digunakan dalam analisis ini adalah 5 SR, 5.5 SR, 6 SR, 6.5 SR, 7 SR, dan 7.5 SR.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peneliti Terdahulu

Penelitian sebelumnya adalah salah satu cara penulis dalam mencari perbandingan dan analisis yang memungkinkan penulis memperluas pengetahuan, mendapatkan inspirasi, dan filosofi yang diterapkan untuk mengkaji penelitian yang akan dilakukan. Dalam hal ini, penulis menggunakan beberapa sumber jurnal, skripsi, serta referensi lainnya yang berkaitan dengan analisis potensi likuifaksi yang terjadi di Indonesia, diantaranya sebagai berikut:

1. Sasanti (2015). Dengan judul penelitian Studi Potensi *Soil Liquefaction* Di Rencana Lokasi Genting Oil Kasuri Papua Barat. Metode yang digunakan pada penelitian ini bermacam- macam yaitu Seed et al, 1971 untuk menghitung CSR (*Cyclic Stress Ratio*), sedangkan untuk menghitung CRR (*Cyclic Resistance Ratio*)nya menggunakan metode Skempton, 1986 dan yang terakhir untuk menghitung penurunannya menggunakan metode Jeng dan Seymour, 2007. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, pada Proyek Pembangunan Struktur Jetty dan Migas berpotensi likuifaksi pada magnitude 6, 6.5, 7, dan 7.5 SR lalu penulis tersebut mempekirakan kedalaman settlement pada gempa dengan Mw 6 = 35.91 cm, Mw 6.5 = 39.15 cm, Mw 7 = 41.95 dan Mw 7.5 = 44.39 cm.
2. Munirwansyah, Yunita, and Munirwan (2017) dengan judul penelitian Kajian Potensial Likuifaksi Akibat Gempa Berdasarkan Data SPT-N Di Wilayah Provinsi Aceh. Kajian potensi likuifaksi tersebut menggunakan metode Khisida (1969), metode Whitman (1971) serta metode Valera dan

Donovan (1977). Berdasarkan hasil penelitian tersebut bahwa Provinsi Aceh merupakan wilayah yang berpotensi rawan gempa sehingga menimbulkan likuifaksi pada magnitude gempa 6, 8, dan 9 SR

3. Hutagalung and Tarigan (2019) dengan judul penelitian Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa (Studi Kasus : Reklamasi Pelabuhan Kontainer Belawan Fase-2). Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode NCEER. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, area reklamasi pelabuhan kontainer Belawan memiliki potensi likuifaksi jika terjadi gempa bumi dengan minimal magnitude 6.9 SR dengan PGA 0.213 g berdasarkan Peta Hazard Gempa Indonesia 2010.
4. Tarigan (2022). Dengan judul penelitian Analisis Potensi Likuifaksi Pada Kawasan Belawan Medan. Metode yang di gunakan yaitu Seed dan idriss (1971), Idriss dan Boulanger (2008). berdasarkan hasil penelitian tersebut bahwa pada BH-1 kedalaman lapisan 0.00 - 0.50 dan 2.00 – 4.00 m mengalami potensi terjadinya likuifaksi pada CRR 8,5. Pada BH-2 likuifaksi terjadi pada lapisan 0.00 – 0.50 m, 3.50 - 6.00 m, dan 6.00 – 7.50 m pada CRR 8,5. Pada BH-3 tidak mengalami likuifaksi. Pada BH-4 likuifaksi terjadi pada lapisan 6.00 m pada CRR 8,5. Pada BH-5 dan 6 likuifaksi terjadi pada lapisan yang sama yaitu pada lapisan 2.00 m pada nilai CRR 7,5 dan 8,5. Pada BH-7 likuifaksi terjadi pada lapisan 6,00 – 13,00 meter untuk nilai CRR 6,5. Sedangkan untuk nilai CRR 7,5 likuifaksi terjadi pada lapisan 6,00 – 15,00 meter. Dan untuk nilai CRR 8,5 likuifaksi terjadi pada lapisan 0,00 – 18,00 meter.

2.2 Tanah

Menurut (Das, 1995), tanah diartikan sebagai sebuah zat atau material yang terdiri dari butiran-butiran (agregat) halus ataupun kasar yang tidak terikat secara kimia satu sama lain dan berasal dari bahan organik yang telah mengalami pelapukan (berpartikel padat) bersama dengan zat cair dan gas yang mengisi celah di antara partikel-partikel padat tersebut.

Menurut Bowles (1989), tanah terdiri dari gabungan partikel-partikel yang mencakup salah satu atau seluruh jenis berikut:

1. Kerikil (*gravel*), adalah partikel batuan dengan ukuran 5 - 150 mm.
2. Berangkal (*boulders*), adalah potongan batu besar, dengan ukuran biasanya antara >250 mm sampai 300 mm. *Boulders* yang berukuran antara 150 mm – 250 mm disebut kerakal (*cobbles*).
3. Pasir (*sand*) adalah butiran batuan yang memiliki ukuran antara 0.075 mm hingga 5 mm, untuk partikel kasar ukurannya berkisar 3 mm – 5 mm, sementara partikel halus berukuran kurang dari 1 mm.
4. Lanau (*silt*) adalah partikel mineral yang memiliki ukuran antara 0,002 mm hingga 0,075 mm. Tanah lanau umumnya terakumulasi di dalam danau atau dekat tepi pantai di area muara sungai.
5. Lempung (*clay*) adalah partikel mineral yang berukuran kurang dari 0,002 mm. Partikel ini adalah sumber utama dari kekuatan kohesi pada tanah yang bersifat kohesif.
6. Koloid (*colloids*), adalah partikel yang berukuran <0.001 mm.

2.2.1 Klasifikasi Tanah

Karakteristik jenis tanah merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan potensi terjadinya likuefaksi. Jenis tanah yang berbeda akan memiliki sifat fisik dan mekanik yang berbeda pula, terutama dalam hal kepadatan, permeabilitas, dan kemampuan menahan gaya geser. Oleh karena itu, klasifikasi tanah sangat dibutuhkan untuk mengenali karakteristik tanah di lokasi penelitian. Dua sistem klasifikasi yang umum digunakan adalah sistem USDA dan sistem USCS.

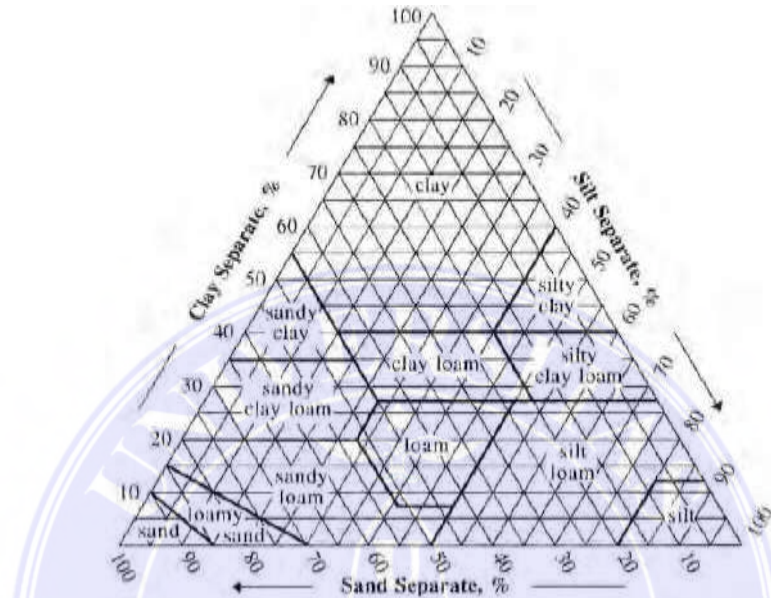
a. *USDA Texture Triangle*

USDA (*U.S. Department of Agriculture*) adalah sebuah lembaga yang mengurus segala hal terkait program pertanian, pangan, kehutanan, keamanan pangan, pengelolaan sumber daya alam, program nutrisi, dan pertumbuhan ekonomi dengan tujuan untuk memastikan keamanan makanan, melindungi sumber daya lingkungan hidup, serta mengatasi masalah kelaparan di Amerika Serikat.

USDA mengklasifikasikan tipe tanah dengan menggunakan grafik segitiga atau grafik tekstur tanah yang menunjukkan berbagai kombinasi tanah liat, pasir, dan lempung. Grafik segitiga tekstur tanah pada Gambar 1 adalah gambaran visual dari kombinasi berbagai jenis tanah.

Sesuai dengan yang terlihat pada Gambar 1 di bawah ini, partikel tanah diberi nama berdasarkan ukuran diameternya. Ukuran partikel-partikel ini secara signifikan memengaruhi karakteristik tanah tersebut. Pasir (*sand*)

tersusun dari partikel-partikel yang lebih besar dengan banyak ruang di antara mereka. Ini menunjukkan bahwa jenis tanah pasir tersebut memiliki sirkulasi udara yang baik dan mampu mengalirkan air dengan cepat

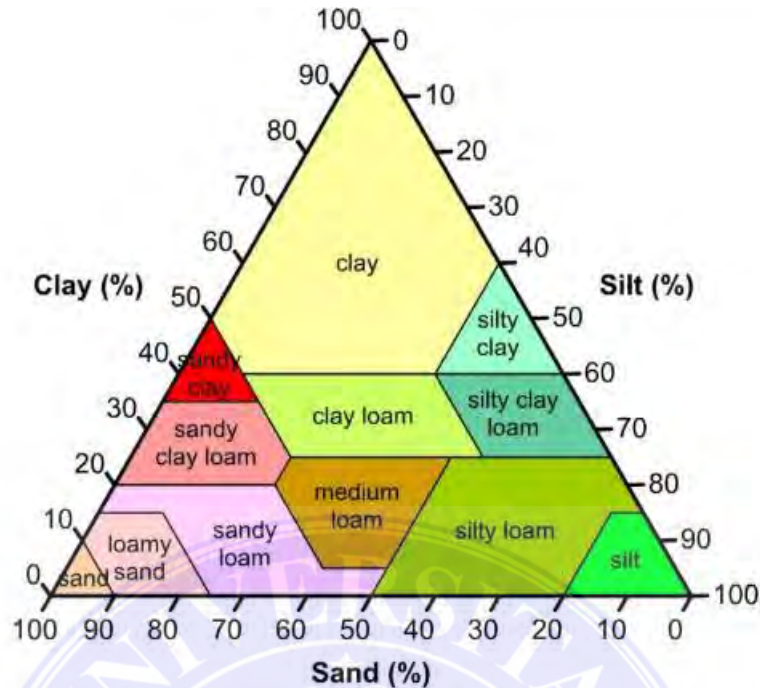


Gambar 1. *The Soil Texture Triangle* (Butts N., *Soil Investigations*, 1994)



Gambar 2. *Tekstur Tanah Clay, Loam, Sand, dan Silt* (Gill M., *Soil Texture Triangle*, 2022)

Perbedaan warna, tekstur hingga ukuran pada jenis tanah *sand*, *clay*, dan *silt* juga dapat dibedakan berdasarkan visualnya seperti yang terlihat pada gambar 2 dan 3 di bawah ini.



Gambar 3. Soil Texture Triangle (Gill M., Soil Texture Triangle, 2022)

b. USCS (Unified Soil Classification System)

Sistem USCS banyak digunakan dalam bidang teknik sipil dan geoteknik karena memberikan klasifikasi berdasarkan sifat butiran tanah dan batas-batas konsistensi. Tanah yang paling rawan terhadap likuefaksi umumnya berada pada kelompok SP (pasir lepas), SM (pasir berlanau), dan ML (lanau berplastisitas rendah). Tanah-tanah tersebut memiliki porositas tinggi dan tidak memiliki kohesi yang cukup untuk mempertahankan struktur saat jenuh air dan mengalami beban siklik akibat gempa.

Sistem ini mengelompokkan tanah kedalam 2 kelompok besar yaitu:

- 1) Tanah berbutir kasar (*coarse grained soil*), yaitu tanah kerikil (*gravel*) dan pasir (*sand*), dimana butiran tanah kurang dari 50% (<50%) berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok dimulai dengan huruf G untuk *gravel* dan S untuk *sand*.

- 2) Tanah berbutir halus (*fine grained soil*), yaitu tanah dimana butirannya 50% atau lebih 50%) dari berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik

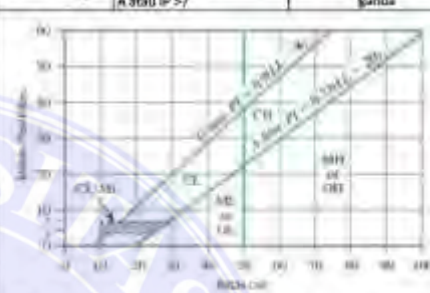
Simbol-simbol lain yang digunakan dalam klasifikasi sistem USCS adalah sebagai berikut:

- W = *Well graded* (tanah dengan gradasi baik)
- P = *Poorly graded* (tanah dengan gradasi buruk).
- L = *Low plasticity* (plastisitas rendah), $LL < 50\%$.
- H = *High plasticity* (plastisitas tinggi), $LL > 50\%$.

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam mengklasifikasi tanah sistem USCS adalah:

- 1) Persentase butiran yang lolos ayakan # 200.
- 2) Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan #4
- 3) Cu dan Ce untuk tanah yang lolos ayakan #200 = 0% sampai 12%.
- 4) LL dan IP untuk tanah yang lolos ayakan #200 = 5% atau lebih.

Berikut dibawah ini pada gambar 4 merupakan klasifikasi tanah system USCS

Divisi Utama	Simbol Kelompok	Jenis	Kriteria Laboratorium	
Tanah berbutir kasar, lebih dari 50% tertahan saringan #100 (0,075 mm) Pasir, 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan dari fraksi lempung (4,75 mm) saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil berahi (kandungan butir halus < 5%)	GW	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria GW Batas Atterberg dibawah garis A atau $IP < 4$ Batas Atterberg diatas garis A atau $IP > 7$	
		GP		
	Kerikil (kandungan butir halus > 12%)	GM	Batas Atterberg diatas garis A dengan IP antara 4-7, menggunakan simbol ganda $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria SW Batas Atterberg dibawah garis A atau $IP < 4$ Batas Atterberg diatas garis A atau $IP > 7$	
		GC		
	Pasir bersih (kandungan butir halus < 5%)	SW	Batas Atterberg diatas garis A dengan IP antara 4-7, menggunakan simbol ganda Batas Atterberg diatas garis A atau $IP > 7$	
		SP		
	Pasir (kandungan butir halus > 12%)	SM	Batas Atterberg diatas garis A dengan IP antara 4-7, menggunakan simbol ganda Batas Atterberg diatas garis A atau $IP > 7$	
		SC		
	Tanah berbutir halus, 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lempung dan lempung dengan batas cair < 50%	ML	Manual untuk identifikasi visual dapat dilihat pada ASTM D-2488 
			CL	
OL				
MH				
CH				
OH				
OH				
Tanah kadar organik tinggi	Pe	Peat dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi		

Gambar 4. Tabel klasifikasi tanah USCS

2.3 Likuifaksi

Menurut Marcuson (1978) dalam (Kusumawardani, n.d.), likuifaksi adalah proses perubahan karakteristik tanah dari keadaan padat menjadi cair. Dalam konteks ini, cairan ini bukanlah air, melainkan menyerupai air. Likuifaksi terjadi pada tanah yang berada dalam kondisi jenuh. Umumnya, likuifaksi adalah jenis bencana sekunder yang terjadi akibat bencana utama, yaitu gempa bumi. Kekuatan gempa yang besar dan berlangsung terus-menerus bisa berpengaruh serius pada area di sekitarnya atau bahkan sampai ratusan kilometer.

Likuifaksi ditandai oleh adanya semburan pasir atau *sand boil* di permukaan tanah, rembesan air melalui retakan, dan juga dapat terlihat dari tenggelamnya struktur bangunan di atas tanah. Karena tanah itu telah berubah menjadi mirip cairan, maka akan berisiko jika ada bangunan yang didirikan di atas tanah berjenis pasir, karena tanah pasir umumnya memiliki rongga yang rentan terhadap tarikan.

2.3.1 Jenis-Jenis Likuifaksi

Likuifaksi secara umum dapat diartikan sebagai perubahan sifat tanah yang awalnya berbutir kasar dan berada dalam kondisi padat menjadi cair akibat meningkatnya tekanan hidrostatik karena beban siklik (gempa) dan non siklik yang tinggi secara mendadak dan terus-menerus. Likuifaksi dibedakan menjadi 2 (dua) jenis kategori, yaitu likuifaksi yang disebabkan oleh beban siklik dan non siklik.

a. Likuifaksi Akibat Beban Siklik (*Cyclic Liquefaction*)

Likuifaksi siklik adalah jenis likuifaksi yang disebabkan oleh beban siklik yang terjadi pada tanah. Beban siklik adalah beban yang muncul akibat gempa. Tegangan geser pada tanah itu berkurang dibandingkan dengan daya dukung tanah, sehingga tanah kehilangan kemampuannya untuk mendukung beban yang ada di atasnya. Dalam konteks ini, beban siklik atau *cyclic load* adalah siklus pemberian beban yang terjadi secara berulang dan dengan intensitas yang teratur seperti pada gempa bumi. Besar deformasi yang terjadi akibat pembebanan siklik bergantung pada kepadatan tanah, besar kecilnya magnitudo gempa, serta frekuensi pembalikan tegangan geser pada struktur bawah.

b. Likuifaksi Akibat Beban Non-Siklik (*Flow Liquefaction*)

Likuifaksi aliran adalah kategori likuifaksi yang muncul ketika tegangan geser statis melebihi tegangan geser tanah yang mengalami likuifaksi. Kekuatan geser tanah adalah gaya penolakan yang dilakukan oleh partikel-partikel tanah terhadap tekanan dan tarikan. Dalam situasi ini, tanah akan sepenuhnya kehilangan kekuatannya, yang akan mengakibatkan

bangunan di atasnya menjadi roboh. Likuefaksi aliran biasanya ditandai oleh gerakan tanah yang cepat dan dengan skala yang cukup besar.

2.3.2 Proses Terjadinya Likuifaksi

Untuk memahami proses likuifaksi, penting untuk menyadari bahwa endapan tanah terdiri dari partikel-partikel. Jika diamati dengan teliti, partikel-partikel itu berada berdekatan dan saling mendukung. Melalui interaksi antara partikel-partikel itu, tanah mampu memiliki kekuatan untuk menahan beban yang ada di atasnya. Situasi ini akan bermanfaat bagi tanah karena tekanan yang ada di atas tanah akan ditanggung secara bersama oleh semua partikel.



Gambar 5. Proses peningkatan air pori karena guncangan yang mengakibatkan terjadinya likuifaksi; (a) saat menerima beban, (c) tegangan air pori meningkat dan tegangan efektif negatif (likuifaksi)

Pada Gambar 5 tampak bahwa terdapat banyak celah di antara butiran tanah yang telah terisi oleh air. Dalam keadaan normal, air dalam tanah mempunyai tekanan air pori yang cukup rendah. Ketika mengalami tekanan dari getaran secara mendadak, partikel air itu akan terdorong keluar hingga dapat meningkatkan tekanannya. Akan tetapi, ketika gempa berlangsung, karena getaran gempa yang terjadi berulang kali dan dengan cepat, air tersebut tidak mendapatkan waktu yang cukup untuk keluar dari tanah melalui pori-pori tanah. agar air tersebut mendorong partikel tanah menjauh. Akhirnya, partikel-partikel tanah tidak mampu mendistribusikan beban dengan baik.

2.3.3 Dampak Terjadinya Likuifaksi

Menurut (Idriss, 1982), terdapat 8 (delapan) efek atau risiko umum yang muncul akibat adanya bencana likuifaksi. Efek-efek tersebut antara lain:

a. *Sand Boils*

Sand boils juga dapat diartikan sebagai semburan pasir. *Sand boils* adalah fenomena di mana tekanan di bawah tanah menyebabkan material menembus lapisan pasir. Air tanah itu kemudian muncul dan akan nampak seperti mendidih dalam bentuk kerucut dan tercampur dengan pasir.

b. *Flow Failures*

Sering terjadi pada talud yang memiliki kemiringan lereng tajam. Arus pasir selanjutnya akan berpindah dari lokasi talud yang memiliki elevasi tinggi ke elevasi yang lebih rendah. Kegagalan aliran dapat terjadi pada talud yang memiliki kemiringan lebih dari 3 derajat dan sering juga disebut sebagai tanah longsor atau longsor.

c. *Lateral Spreads*

Adalah pergeseran tanah yang terjadi sebagai reaksi tanah terhadap kombinasi gravitasi dan inersia yang dihasilkan oleh gempa. Sebaran lateral umumnya terjadi pada lereng yang datar dengan sudut kemiringan berkisar antara 0,3 hingga 3 derajat. Dalam keadaan ini, tanah bergerak ke arah permukaan bebas seperti aliran air sungai. Gerakan dari permukaan tanah itu dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur bangunan di bagian bawah.

e. *Ground Oscillation*

Adalah suatu kejadian di mana likuifaksi berlangsung pada endapan tanah yang terletak di bawah sebuah wilayah yang mengalami pergerakan. Umumnya

terdiri dari suatu massa tanah yang berbentuk blok solid di bawah permukaan tanah. Apabila tanah di bawahnya mengalami likuifaksi tetapi lapisan tanah di atasnya tetap stabil, akan terjadi gerakan bolak-balik dan naik turun pada lapisan atas sebagai dampak dari lapisan bawah yang telah mencair. Situasi ini akan mengakibatkan timbulnya celah-celah besar dan akan terjadinya benturan antara bagian-bagian satu dengan yang lainnya.

f. *Loss of Bearing Capacity*

Saat tanah mengalami likuifaksi, tanah itu akan kehilangan kekuatannya untuk menopang beban dari struktur di atasnya, sehingga sistem struktur bangunan tersebut tidak akan memiliki pondasi yang kokoh. Dalam situasi ini, bangunan yang terbenam seperti basement dan jaringan pipa bawah tanah bisa terangkat ke permukaan atau sering disebut dengan istilah *buoyant rise of buried structure*.

2.4 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah suatu kejadian di mana dua blok di bumi bertumpuk dan bergerak saling melintasi. Titik di mana gempa bumi bermula di bawah permukaan bumi disebut sebagai hiposenter. Sementara titik lokasi di mana gempa berlangsung di atas permukaan bumi disebut episentrum.

2.4.1 Jenis-Jenis Gempa Bumi

a. Gempa Vulkanik

Merupakan tipe gempa yang disebabkan oleh aktivitas magma atau pelepasan energi yang terjadi di gunung berapi. Gempa bumi ini bisa terjadi sebelum, saat, atau setelah erupsi gunung berapi, maupun ketika ada aktivitas di inti bumi. Akibat dari gempa bumi vulkanik dapat berupa kabut asap dan

semburan abu vulkanik yang menghalangi sinar matahari, sehingga menimbulkan masalah pada sistem pernapasan

b. Gempa Tektonik

Adalah tipe gempa bumi yang diakibatkan oleh pergeseran mendadak dua atau lebih lempeng tektonik. Pergerakan pada lempeng tektonik tersebut disebut sesar dengan jenis yang bervariasi sesuai dengan arah pergerakannya. Seringkali setelah gempa tektonik, akan muncul gempa susulan yang bergantung pada kedalaman gempanya. Klasifikasi gempa tektonik menurut kedalaman dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis Gempa Tektonik Berdasarkan Kedalaman Gempa (Malik, 2013)

Jenis Gempa	Kedalaman
Gempa Bumi Dangkal	0-70 km
Gempa Bumi Menengah	71 – 300 km
Gempa Bumi Dalam	>300 km

Salah satu dampak yang ditimbulkan oleh gempa bumi tektonik ini adalah terjadinya tsunami. Di samping itu, gempa tektonik dapat memicu likuifaksi dan mengakibatkan bangunan yang ada di atasnya ambruk secara tiba-tiba.

c. Runtuhan

Merupakan tipe gempa bumi yang diakibatkan oleh terjatuhnya tanah atau kolapsnya gua-gua yang ada di sekeliling daerah yang terkena dampak. Pengaruh dari gempa bumi ini umumnya tidak sebesar dampak gempa bumi tektonik dan hanya berdampak pada wilayah-wilayah kecil di sekitarnya.

2.4.2 Besar Kekuatan Gempa

Terdapat 2 (dua) cara yang biasanya digunakan dalam mengklasifikasikan besar kekuatan gempa, yaitu dengan menggunakan metode MMI (*Modified MMI Intensity*) dan dengan parameter magnitudo (skala richter).

a. Skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*)

adalah unit yang dihasilkan oleh seorang pakar vulkanologi asal Italia bernama Giuseppe Mercalli pada tahun 1902. Dalam metode pembagian skala MMI ini terdiri dari 12 jenis yang diambil berdasarkan informasi dari para penyintas gempa bumi, kemudian hasil ini dibandingkan untuk mengetahui tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi itu. Karena perhitungan hasil berdasarkan lokasi, maka hasil tersebut tidak seragam di setiap tempat. Distribusi pengaruh risiko gempa terhadap skala MMI dapat diamati pada Tabel 2.

Tabel 2. Skala Intensitas Gempa Bumi BMKG (Kementrian ESDM, Skala MMI: *Modified Mercalli Intensity*, 2021)

Skala SIG BMKG	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA
I	Tidak Dirasakan	Tidak terasa atau hanya dirasakan oleh segelintir orang, namun terekam oleh alat.	I - II	< 2.9
II	Dirasakan	Dapat dirasakan oleh orang banyak, namun tidak menimbulkan kerusakan. Benda- benda ringan yang tergantung bergoyang dan kaca jendela bergetar.	III - V	2.9 - 88
III	Kerusakan Ringan	Bagian non-struktural bangunan mengalami kerusakan ringan, termasuk retak rambut di dinding.	VI	89 - 167

		Banyak retakan muncul di dinding bangunan sederhana, sebagian runtuh dan kaca pecah.		
IV	Kerusakan Sedang	Beberapa plester dinding juga terkelupas serta sebagian besar genteng akan meluncur kebawah. Stuktur bangunan akan mengalami kerusakan ringan hingga sedang.	VII - VIII	168 - 564
V	Kerusakan Berat	Sebagian besar dinding bangunan permanen runtuh dan struktur bangunan rusak parah.	IX - XII	> 564

Skala MMI kurang umum digunakan dibandingkan skala Richter karena skala MMI hanya diterapkan jika tidak ada alat seismometer untuk mengukur kekuatan gempa di lokasi kejadian.

b. Skala Richter

Skala Richter atau SR merupakan salah satu metode yang paling sering digunakan dalam mengklasifikasi skala gempa. Satuan ini diciptakan oleh vulkanologis bernama DR. Charles F. Richter yang bekerja sama dengan Beno Gutenberg yang berasal dari *California Institute of Technology* pada tahun 1935. Satuan ini dinyatakan dengan nama magnitude dengan simbol Mw. Pembagian besar pengaruh gempa berdasarkan besaran magnitude skala richter dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Magnitude Gempa dan Pengaruh Gempa (Wardhiny, B.K , Kajian Analisis Resiko Bencana Sesar, 2014)

Deskripsi	Skala Richter	Pengaruh Gempa
Mikro	< 2.0	Tidak terasa
Sangat Minor	2.0 - 2.9	Umumnya terasa, namun tidak terekam

Minor	3.0 - 3.9	Kadang terasa, namun jarang menimbulkan kerusakan yang berarti
Ringan	4.0 - 4.9	Ditandai dengan barang-barang di dalam ruangan yang bergetar
Sedang	5.0 - 5.9	Menimbulkan kerusakan pada bangunan konstruksi ringan dengan ruang yang sempit. Pada struktur bangunan terdapat sedikit kerusakan
Kuat	6.0 - 6.9	Dapat merusak bangunan pada area sekitar 150 km
Mayor	7.0 - 7.9	Dapat menimbulkan kerusakan besar di area yang luas
Besar	8.0 - 8.9	Menimbulkan banyak kerusakan pada suatu area dengan jarak ratusan kilometer
Sangat Besar	> 9.0	Kebanyakan bangunan tidak dapat bertahan dan rusak parah.

Skala Richter dirancang agar penentuan magnitudo gempa menjadi lebih mudah tanpa memerlukan perhitungan matematis yang kompleks. Skala Richter umumnya digunakan untuk gempa berkekuatan kecil atau yang berlokasi kurang dari 600 km, sehingga penerapan skala ini kurang tepat untuk menghitung gempa bumi dengan kekuatan besar.

Skala gempa dapat mencerminkan keadaan sebenarnya dari kekuatan gempa yang berlangsung. Akan tetapi, magnitudo gempa tidak mencerminkan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh gempa karena jika lokasi gempa terjadi di tengah laut, tentu dampaknya berbeda jika gempa berlangsung di pusat kota dengan magnitudo serupa. Struktur bangunan yang terletak dekat atau jauh dari pusat gempa, keduanya dapat memengaruhi integritas bangunan tergantung pada tingkat intensitas getaran yang terjadi.

2.4.3 Riwayat Gempa Bumi di Sumatera Utara

Berdasarkan data historis gempa bumi yang diperoleh dari *United States Geological Survey* (USGS), wilayah Sumatera Utara tercatat mengalami aktivitas seismik yang cukup signifikan dalam kurun waktu hampir lima dekade terakhir (1976–2025). Secara umum, magnitudo gempa yang terjadi berkisar antara M 5,0 hingga M 6,3 dengan kedalaman hiposenter yang bervariasi, mulai dari gempa dangkal pada kedalaman sekitar 10 km hingga gempa dalam lebih dari 240 km.

Gempa-gempa tersebut tersebar di sejumlah lokasi penting di Sumatera Utara, di antaranya Pematangsiantar, Padangsidempuan, Sibolga, Parapat, Nias, hingga Gunungsitoli. Sebagian besar episenter berada di sekitar jalur Pegunungan Bukit Barisan dan zona subduksi barat Sumatera yang merupakan batas pertemuan Lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia. Pola ini menunjukkan bahwa gempa bumi di Sumatera Utara dipengaruhi oleh aktivitas tektonik sesar lokal seperti Sesar Besar Sumatera maupun zona subduksi megathrust di lepas pantai barat Sumatera.

Beberapa gempa menonjol dalam catatan sejarah antara lain gempa pada tahun 1984 di Padangsidempuan (M 5,02 pada kedalaman 109 km), gempa Nias tahun 2005 (M 8,6 yang memicu tsunami besar di Samudra Hindia), serta gempa-gempa dengan magnitudo menengah seperti di sekitar Sibolga, Gunungsitoli, dan Tapanuli Utara yang berulang hampir setiap dekade. Data terbaru tahun 2025 menunjukkan gempa dengan magnitudo M 5,03 pada kedalaman ± 101 km di sebelah barat daya Padang sidempuan.

Secara keseluruhan, riwayat gempa bumi tersebut memperlihatkan bahwa Sumatera Utara merupakan kawasan dengan tingkat aktivitas seismik tinggi.

Dominasi gempa menengah hingga besar dan kedalaman yang bervariasi menandakan kompleksitas sumber gempa di daerah ini. Hal ini menjadi bukti bahwa wilayah Sumatera Utara berpotensi menghadapi ancaman guncangan gempa di masa mendatang, sehingga kajian mengenai bahaya gempa bumi, termasuk potensi likuifaksi dan dampaknya terhadap infrastruktur, sangat penting dilakukan sebagai dasar mitigasi bencana.

Tabel 4. Data Gempa Bumi di Sumatera Utara dalam 50 Tahun Terakhir (*Earthquake Catalog, 2025*)

time	depth	mag	place
1976-09-07T22:07:16.500Z	175	05.01	30 km SSE of Pematangsiantar, Indonesia
1977-01-12T23:35:19.100Z	178	05.06	53 km SSE of Bandar, Indonesia
1977-05-23T21:55:54.100Z	40	05.05	103 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
1979-03-31T16:54:34.500Z	72	05.03	87 km SSW of Padangsidempuan, Indonesia
1979-04-28T03:29:56.900Z	72	05.08	107 km SSW of Padangsidempuan, Indonesia
1980-07-18T03:13:10.600Z	186	5	39 km SSW of Bandar, Indonesia
1980-07-22T11:25:26.700Z	163	5	22 km E of Parapat, Indonesia
1982-03-07T14:08:15.030Z	124.02.00	5	101 km WSW of Pangkalan Brandan, Indonesia
1984-07-08T02:28:54.570Z	109.06.00	05.02	61 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
1984-08-27T06:41:26.220Z	32.05.00	05.06	32 km E of Sibolga, Indonesia
1984-08-27T07:26:56.670Z	40.07.00	05.04	47 km ENE of Sibolga, Indonesia
1984-09-13T19:16:55.800Z	150.01.00	5	31 km NE of Sibolga, Indonesia
1985-01-02T22:06:31.660Z	105	05.03	12 km S of Sibolga, Indonesia
1985-06-29T08:34:33.260Z	76	05.03	57 km SW of Sibolga, Indonesia
1986-04-10T18:22:08.400Z	92.01.00	05.01	73 km SSW of Sibolga, Indonesia
1986-06-14T14:51:03.550Z	66.04.00	05.02	35 km SE of Singkil, Indonesia
1986-10-03T07:06:54.560Z	126.04.00	05.02	24 km ESE of Sibolga, Indonesia
1987-04-25T19:22:07.200Z	11.01	06.04	45 km S of Tomok Bolon, Indonesia
1987-04-28T15:32:30.560Z	19.03	05.08	48 km NE of Sibolga, Indonesia
1988-01-14T19:27:27.980Z	116.09.00	05.01	53 km SSW of Padangsidempuan, Indonesia
1988-02-10T07:09:42.020Z	60.06.00	05.01	116 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
1988-12-20T03:35:17.810Z	36.07.00	05.05	Nias region, Indonesia
1989-07-20T04:53:20.590Z	187.03.00	05.02	14 km SSE of Pematangsiantar, Indonesia
1989-11-25T20:14:34.780Z	110.05.00	05.01	60 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
1989-11-26T10:52:27.490Z	93.02.00	5	65 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
1990-11-27T00:28:28.050Z	144.09.00	05.01	18 km NW of Berastagi, Indonesia
1991-01-06T03:01:58.460Z	57	05.04	120 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
1992-05-27T12:02:48.720Z	125.05.00	05.01	26 km WNW of Padangsidempuan, Indonesia

1993-01-20T02:30:54.730Z	67.08.00	06.02	95 km W of Kabanjahe, Indonesia
1995-07-15T02:42:56.830Z	165.03.00	05.04	14 km E of Parapat, Indonesia
1995-09-24T20:19:59.250Z	35.06.00	05.01	127 km WSW of Pangkalan Brandan, Indonesia
1996-08-24T03:54:44.440Z	110.01.00	5	60 km SSE of Padangsidempuan, Indonesia
1996-10-10T15:21:04.700Z	33	06.03	62 km WSW of Binjai, Indonesia
2000-12-04T07:54:43.840Z	94.08.00	05.02	22 km WNW of Padangsidempuan, Indonesia
2001-05-11T22:18:09.020Z	80.02.00	05.02	66 km SSW of Padangsidempuan, Indonesia
2001-12-04T07:19:25.500Z	139.01.00	05.01	63 km WSW of Pangkalan Brandan, Indonesia
2003-01-09T04:42:43.290Z	45.04.00	05.05	119 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
2003-05-12T03:03:05.210Z	77.06.00	05.05	47 km WSW of Padangsidempuan, Indonesia
2005-03-28T16:33:56.460Z	30	5	131 km SW of Sibolga, Indonesia
2005-03-28T17:23:32.830Z	30	05.02	18 km NNW of Ambarita, Indonesia
2005-03-28T17:59:47.310Z	30	05.04	130 km SW of Sibolga, Indonesia
2005-03-28T18:30:44.560Z	36.01.00	06.01	136 km SW of Sibolga, Indonesia
2005-03-28T19:02:19.910Z	30.09.00	05.08	133 km SW of Sibolga, Indonesia
2005-03-28T20:23:23.470Z	36.01.00	05.01	127 km SW of Sibolga, Indonesia
2005-03-29T06:16:15.220Z	30	05.05	44 km N of Padangsidempuan, Indonesia
2005-03-29T18:29:48.660Z	30	5	132 km SW of Sibolga, Indonesia
2005-04-01T00:48:47.350Z	30	5	176 km SW of Sibolga, Indonesia
2005-05-14T05:05:18.480Z	34	06.07	125 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
2005-07-26T01:38:55.310Z	27.09.00	5	Nias region, Indonesia
2005-09-02T08:04:04.980Z	147.01.00	05.05	23 km SSE of Tomok Bolon, Indonesia
2006-05-22T19:16:31.890Z	180.09.00	5	38 km SSW of Bandar, Indonesia
2006-07-23T13:29:47.550Z	30	5	89 km SW of Sibolga, Indonesia
2006-09-09T05:05:46.710Z	14.03	05.03	45 km SE of Padangsidempuan, Indonesia
2006-12-17T21:39:17.450Z	30	05.08	105 km SE of Padangsidempuan, Indonesia
2007-08-30T11:07:18.930Z	145.08.00	05.04	46 km N of Padangsidempuan, Indonesia
2008-05-19T14:26:45.020Z	10	6	31 km NNW of Padangsidempuan, Indonesia
2008-05-19T14:49:17.690Z	10	05.03	39 km NNW of Padangsidempuan, Indonesia
2009-03-25T18:27:35.060Z	89.06.00	5	107 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
2009-04-19T11:10:00.260Z	174.08.00	05.01	17 km S of Pematangsiantar, Indonesia
2009-05-08T13:19:01.180Z	24.05.00	05.02	96 km WSW of Binjai, Indonesia
2010-02-28T12:13:27.860Z	58.01.00	05.01	48 km NNE of Sibolga, Indonesia
2010-07-24T02:11:25.650Z	42	05.03	51 km SE of Padangsidempuan, Indonesia
2010-12-01T00:50:21.730Z	160.01.00	05.06	12 km ENE of Parapat, Indonesia
2011-02-07T08:08:36.420Z	75.02.00	05.01	80 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
2011-03-25T09:14:30.520Z	110.04.00	05.02	33 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
2011-05-06T18:56:44.130Z	138.01.00	05.01	101 km SE of Padangsidempuan, Indonesia
2011-06-14T00:08:32.490Z	17	05.05	50 km N of Padangsidempuan, Indonesia
2011-06-14T03:01:29.790Z	22	05.06	38 km ENE of Sibolga, Indonesia
2011-06-18T11:58:01.010Z	24.08.00	5	38 km ENE of Sibolga, Indonesia
2011-08-03T20:02:18.440Z	78.06.00	05.02	70 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
2011-09-05T17:55:11.220Z	91	06.07	68 km WSW of Kabanjahe, Indonesia

2012-02-20T02:28:17.770Z	192.06.00	05.02	30 km SW of Bandar, Indonesia
2012-06-23T04:34:53.180Z	95	06.01	66 km W of Kabanjahe, Indonesia
2012-08-27T09:01:23.130Z	149.05.00	05.02	33 km SSE of Parapat, Indonesia
2012-10-29T02:22:44.500Z	58.09.00	05.04	105 km SSW of Sibolga, Indonesia
2013-02-07T00:41:32.640Z	96.03.00	5	36 km W of Padangsidempuan, Indonesia
2014-03-15T10:58:46.160Z	171.61	05.04	13 km S of Pematangsiantar, Indonesia
2014-04-20T08:43:51.930Z	43.07.00	05.04	128 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
2015-04-19T18:40:24.950Z	122.67	05.03	26 km NE of Sibolga, Indonesia
2015-08-06T10:08:54.800Z	77.88	05.01	56 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
2015-11-04T08:12:13.890Z	28.92	05.03	152 km SSW of Sibolga, Indonesia
2015-11-08T09:34:57.310Z	69	05.07	78 km SSW of Padangsidempuan, Indonesia
2016-09-01T20:04:17.480Z	35	05.05	117 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
2016-10-03T15:02:13.910Z	158.04.00	05.01	34 km ESE of Parapat, Indonesia
2017-01-06T10:24:59.220Z	42.04.00	05.01	75 km WSW of Sibolga, Indonesia
2017-01-16T12:42:10.680Z	6	05.06	14 km NNW of Berastagi, Indonesia
2017-03-27T13:15:26.600Z	52.48.00	05.01	127 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
2017-04-30T16:37:29.440Z	55.73	5	109 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
2017-07-11T01:24:32.110Z	146.54.00	05.04	10 km NNE of Parapat, Indonesia
2017-09-15T12:37:01.400Z	158.57.00	5	33 km NE of Padangsidempuan, Indonesia
2018-02-24T10:02:34.440Z	17.02	5	37 km NNE of Sibolga, Indonesia
2018-03-01T01:35:49.680Z	71.01.00	05.02	71 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
2018-03-01T03:17:06.430Z	66.77	05.03	72 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
2018-03-13T04:33:38.880Z	124.41.00	05.01	37 km NE of Sibolga, Indonesia
2019-03-11T16:34:28.920Z	75.55.00	05.03	61 km WSW of Padangsidempuan, Indonesia
2019-06-02T03:03:09.588Z	43	05.04	122 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
2020-04-30T08:20:26.093Z	17.12	5	40 km ESE of Padangsidempuan, Indonesia
2020-12-03T19:48:39.731Z	128.21.00	5	34 km WNW of Berastagi, Indonesia
2021-02-15T04:57:13.303Z	68.92	5	59 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
2021-11-03T00:50:35.771Z	64.77	05.01	95 km SSW of Sibolga, Indonesia
2021-11-12T10:44:17.100Z	91.42.00	05.01	43 km WSW of Padangsidempuan, Indonesia
2022-03-05T13:33:23.386Z	148.95	5	10 km ENE of Parapat, Indonesia
2022-09-30T19:28:40.152Z	18.363	05.09	41 km NNE of Sibolga, Indonesia
2022-09-30T19:50:35.495Z	20.955	5	49 km S of Tomok Bolon, Indonesia
2022-09-30T20:37:38.689Z	10.098	5	35 km NNE of Sibolga, Indonesia
2022-10-30T22:21:34.605Z	179.876	05.02	34 km SW of Bandar, Indonesia
2023-04-03T14:59:41.845Z	84	06.01	77 km SW of Padangsidempuan, Indonesia
2023-05-11T14:36:36.909Z	27.231	5	59 km W of Gunungsitoli, Indonesia
2023-06-26T10:12:36.013Z	91.467	05.02	55 km NW of Sibolga, Indonesia
2024-09-14T21:37:37.604Z	127.607	5	34 km ENE of Sibolga, Indonesia
2025-03-17T22:23:36.962Z	46.856	05.04	41 km ENE of Sibolga, Indonesia
2025-05-07T07:09:08.006Z	10	05.03	50 km SSW of Gunungsitoli, Indonesia
2025-08-07T15:29:00.072Z	101.913	05.03	53 km WSW of Padangsidempuan, Indonesia

2.5 Parameter Identifikasi Potensi Likuifaksi

2.5.1 Tegangan Tanah

Tegangan di lapisan tanah yang disebabkan oleh beban dari tanah di atasnya tanpa mempertimbangkan tegangan air pori akibat air (μ) disebut tegangan vertikal total. Tegangan vertikal keseluruhan dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\sigma_v = \sum (\gamma \cdot z) \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

σ_v = Tegangan vertikal total tanah (kN/m²)

γ = Berat isi lapisan tanah (kN/m³)

z = Kedalaman tanah yang ditinjau (m)

Apabila tanah mendapatkan beban (dan karena air), dikatakan tidak dapat dimampatkan, maka beban pertama yang diterima oleh air dan muncul adalah tekanan pori air. Tekanan air pori bisa dihitung menggunakan rumus di bawah ini:

$$\mu = \gamma_w \cdot z \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

μ = Tekanan air pori tanah (kN/m²)

γ_w = Berat volume air = 9.81 (kN/m³)

z = Kedalaman tanah yang ditinjau (m)

Air dengan tekanan tinggi akan mengalir keluar, sehingga mengurangi tekanan air pada pori. Setelah hilangnya tekanan air pori, seluruh beban akan

ditanggung oleh area kontak antara butiran tanah yang disebut tegangan vertikal efektif. Tegangan vertikal yang efektif pada tanah dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\sigma'v = \sigma v - \mu \dots \dots \dots (3)$$

dimana :

$\sigma'v$ = Tegangan vertikal efektif tanah (kN/m²)

σv = Tegangan vertikal total tanah (kN/m²)

μ = Tegangan air pori (kN/m²)

Perhitungan manual yang dijelaskan di atas dapat diterapkan jika ada data hasil pengujian analisis ayakan, namun jika data hasil pengujian analisis ayakan tidak tersedia, maka nilai tegangan tanah dapat dihitung dengan menggunakan nilai korelasi yang terdapat pada Tabel 10 di bawah ini.

Tabel 5. Nilai Korelasi Parameter Tanah dengan N-SPT untuk Jenis Tanah Pasir (*Sand*) dan Lempung (*Clays*) (Kouretzis, *Fundamentals of Foundation Engineering and Their Applications*, 2018)

Nilai N-SPT	Soil Parameters Description		Nilai Koreksi	
	Sand	Relative Density Dr %	γ (kN/m ³)	ϕ' (deg)
0 - 3	Very Loose	0	11.0 - 15.7	25 - 30
4 - 9	Loose	15	14.1 - 18.1	27 - 32
10 - 29	Medium	35	17.3 - 20.4	30 - 35
30 - 49	Dense	65	18.8 - 22.0	35 - 40
> 50	Very Dense	85	20.4 - 23.6	38 - 43
	Clay		γ (kN/m ³)	S _u (Kpa)
0 - 1	Very Soft			0
2 - 3	Soft		15.7 - 18.8	12
4 - 7	Medium			25
8 - 15	Stiff		17.3 - 20.4	50
16 - 31	Very Stiff			100
32	Hard		18.8 - 22.0	200

Di Tabel 5 di atas, untuk memperoleh nilai berat isi tanah (γ) dapat diterapkan rumus interpolasi sesuai dengan jenis tanah pasir (*sand*) atau lempung

(*clay*) dan nilai N-SPT yang diperoleh dari hasil uji soil investigation SPT sebagai berikut:

$$\gamma = (y) (x+z) + \gamma_1 \dots \dots \dots (4)$$

Dimana :

γ = Berat isi tanah (kN/m³)

y = Selisih nilai N-SPT (Batas atas – batas bawah)

x = Selisih nilai N-SPT (Nilai N-SPT pengujian - batas bawah)

z = Selisih nilai γ (γ_{atas} – γ_{bawah})

γ_1 = Batas bawah nilai γ

2.5.2 Nilai N-SPT, (N1)60 dan (N1)60cs

Nilai N-SPT adalah nilai yang didapat melalui pengujian *boring log* yang sering disebut Uji Penetrasi Standar. *Standart Penetration Test* adalah teknik pengujian tanah yang dilakukan bersamaan dengan kegiatan pengeboran untuk mengetahui sifat ketahanan tanah serta mengambil sampel tanah *undistrubed* menggunakan metode penumbukan.

Berdasarkan Youd dan Idriss (2001) serta Cetin et al. (2004) dalam (Lonteng et al., 2013), perbaikan yang diperlukan untuk memperoleh nilai (N1)60 adalah:

$$(N1)60 = Nm CN CE CB CR CS \dots \dots \dots (5)$$

Dimana :

(N1)60 = Nilai SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh efisiensi tenaga 60%

Nm = Nilai N-SPT yang diperoleh dari pengujian lapangan

CN = Faktor normalisasi Nm terhadap tegangan overburden pada umumnya

CE = Koreksi rasio energi hammer

- CB = Koreksi untuk diameter lubang bor
- CR = Faktor koreksi dari panjang batang
- CS = Koreksi untuk sampel

Setelah memperoleh nilai Nm yang telah dikoreksi dengan efisiensi energi 60%, selanjutnya akan dihitung juga nilai koreksi tegangan *overburden* akibat peningkatan nilai N-SPT. Faktor normalisasi untuk koreksi dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$CN = 2,2 (1,2 + \sigma'v) Pa \dots \dots \dots (6)$$

Dimana :

$\sigma'v$ = Tegangan vertikal efektif tanah (kN/m²)

pa = Tegangan atmosfer 100 kPa (1 atm)

Di mana nilai CN tidak boleh lebih dari 1.8, sementara untuk nilai faktor koreksi lainnya dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 6. Faktor Koreksi Uji SPT (*Skempton*) (BSN, Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT SNI 4153:2008, 2008)

faktor	jenis alat	parameter	koreksi
Tegangan Vertikal	-	CN	2,2 / (1,2 + ($\sigma'v/pa$))
Tegangan Vertikal	-	CN	CN < 1,7
Rasio Tenaga	Palu Donat (<i>Donut Hammer</i>)	CE	0,5 - 1,0
Rasio Tenaga	Palu Pengaman (<i>Safety Hammer</i>)	C	0,7 - 1,2
Rasio Tenaga	Palu otomatis (<i>Automatic-trip Donut-type Hammer</i>)	C	0,8 - 1,3
Diameter Bor	65 s/d 115 mm	CB	1
Diameter Bor	150 mm	CB	1,05
Diameter Bor	200 mm	CB	1,15
Panjang Batang	< 3 m	CR	0,75
Panjang Batang	3 s/d 4 m	CR	0,8
Panjang Batang	4 s/d 6 m	CR	0,85
Panjang Batang	6 s/d 10 m	CR	0,95
Panjang Batang	10 s/d 30 m	CR	1
Pengambilan Contoh	Tabung Standar	CS	1
Pengambilan Contoh	Tabung Dengan Pelapis	CS	1,1 - 1,3

Berdasarkan Tabel 6 di atas, penting untuk mengetahui spesifikasi alat bor untuk mengidentifikasi nilai CE, CB, CR, dan CS. Dalam menilai nilai (N1)60cs, penting untuk memperhatikan nilai fines content (FC) yang merupakan persentase lolos pada saringan No. 200. Faktor koreksi (N1)60cs untuk penyetaraan nilai dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$(N1)60cs = \alpha + \beta \cdot (N1)60 \dots \dots \dots (7)$$

$$(N1)60cs = (N1)60 + \Delta(N1)60 \dots \dots \dots (8)$$

$$\Delta(N1)60 = \text{EXP} \left(1.63 + \frac{9.7}{FC+1} - \left(\frac{15.7}{FC+1} \right)^2 \right) \dots \dots \dots (9)$$

Persamaan (7) digunakan untuk tanah yang didominasi oleh lempung, sementara persamaan (8) dan (9) digunakan untuk tanah yang didominasi oleh pasir atau lanau. Nilai koefisien α dan β dipengaruhi oleh persentase *fines content* (FC). Koefisien itu diperoleh dari rumus sebagai berikut:

$$\alpha = 0, \text{ dan } \beta = 1,0 \dots \dots \dots \text{apabila } FC \leq 5\%$$

$$\alpha = \exp \left[1,76 - \left(\frac{190}{FC^2} \right) \right] \dots \dots \dots \text{apabila } 5\% < FC < 35\%$$

$$\beta = \left[0,99 - \left(\frac{FC^{1,5}}{1000} \right) \right] \dots \dots \dots \text{apabila } 5\% < FC < 35\%$$

$$\alpha = 5,0 \dots \dots \dots \text{apabila } FC \geq 35\%$$

$$\beta = 1,2 \dots \dots \dots \text{apabila } FC \geq 35\%$$

Nilai *fines content* dapat ditentukan melalui pengujian *sieve analysis* dengan memeriksa persentase yang lolos pada saringan No. 200. Namun jika data pengujian tersebut tidak tersedia, dapat dipakai nilai korelasi *measured fines content* (FC%).

Untuk menghasilkan nilai korelasi yang lebih akurat, data itu dikumpulkan dan digunakan sebanyak 133 sampel konten kemudian dibagi lagi menjadi 7

segmen atau zona berdasarkan tipe-tipe tanah yang terdapat di area tersebut. Dalam seluruh penelitian tersebut, secara geologis terdiri dari sedimen aluvial yang sangat muda dan tanah dengan plastisitas rendah yang mencakup tipe tanah pasir bersih.

Tabel 7. Tabel Nilai Korelasi Hubungan antara *Soil Behaviour Type Index* (I_c), *Fines Content* (%) dan Jenis Tanah Klasifikasi USCS (Yi,F.,*Estimating Soil Fines Contents* from CPT data, 2014)

Soil Behaviour Type Index, I_c	Zone	USCS Classification	Fines Content (%)
$I_c < 1.31$	7	Gravelly sand to dense sand	0
$1.31 \leq I_c < 1.59$	6c	Clean sand	0 - 5.0
$1.59 \leq I_c < 1.83$	6b	Sandy with silt	5.0 - 12.0
$1.83 \leq I_c < 2.276$	6a - 5c	Silty sand	12.0 - 35.0
$2.276 \leq I_c < 2.50$	5b	Silty sand to sandy silt	35.0 - 50.0
$2.50 \leq I_c < 2.68$	5a - 4b	Sandy silt to silty sand	50.0 - 65.0
$2.68 \leq I_c < 2.95$	4a	Silt mixture: clayey silt to silty clay	65.0 - 87.4
$2.95 \leq I_c < 3.10$	3b	Silty clay	87.4 - 100
$3.10 \leq I_c < 3.60$	3a	Clay	100
$I_c \geq 3.60$	2	Organic soils: peats	100

Tabel 7 di atas dapat diterapkan dengan mengaitkan jenis tanah berdasarkan klasifikasi USCS yang terdapat pada data pengujian boring log dengan nilai *fines content* yang tercantum pada Tabel tanpa perlu menghitung nilai I_c sebelumnya, karena acuan untuk nilai *fines content* adalah hanya 5%, 15%, dan 35%.

2.5.3 Percepatan Gempa Dasar (a_{max})

Percepatan gempa dasar atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) yang dilambangkan dengan a_{max} adalah percepatan maksimum permukaan tanah akibat getaran yang disebabkan oleh gempa bumi. Penghitungan PGA di Indonesia bisa

memanfaatkan data yang telah tersedia sebelumnya seperti Peta Zona Gempa Indonesia (SNI 1726: 2019), SNI 2012, perhitungan fungsi atenuasi (berdasarkan kondisi alam suatu daerah), data puskim, serta perangkat lunak NERA.

Dalam penelitian ini, penulis hanya memanfaatkan data Aplikasi Spektrum Respons Desain Indonesia 2021 Puskim PU sebagai referensi nilai PGA pada Gambar 6 yang dikembangkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) bersinergi dengan Institut Teknologi Bandung (ITB) untuk menentukan percepatan gempa (a_{max}) berdasarkan koordinat lokasi.



Gambar 6. Halaman Puskim Desain Spektra Indonesia (ciptakarya.pu.go.id, 2021)

2.5.4 *Stress Reduction Factor (rd)*

Secara umum, *stress reduction factor* atau SRF (rd) menjelaskan hubungan antara tekanan dan kekuatan batuan yang berada di bawah permukaan tanah. Nilai SRF juga merupakan nilai yang dapat menurunkan stres di dalam tanah. Semakin dalam ke dalam tanah, maka nilai SRF akan semakin berkurang. Nilai SRF bervariasi di setiap kedalaman, sehingga perlu dihitung pada setiap kedalaman tersebut.

Perhitungan faktor pengurangan stres (r_d) sesuai (Seed dan Idriss, 1971) harus mencerminkan fungsi dari kedalaman serta magnitudo gempa (M_w) referensi. SFR bisa dihitung menggunakan rumus berikut:

$$r_d = 1 - (0.00765) \cdot (z) \quad \text{untuk } z < 9.15 \text{ m} \dots \dots \dots (10)$$

$$r_d = 1.174 - (0.0267) \cdot (z) \quad \text{untuk } 9.15 \text{ m} < z < 23 \text{ m} \dots \dots \dots (11)$$

$$r_d = 0.744 - (0.008) \cdot (z) \quad \text{untuk } 23 \text{ m} < z < 30 \text{ m} \dots \dots \dots (12)$$

Persamaan (10), (11), dan (12) berlaku untuk kedalaman tanah $< 30 \text{ m}$, sedangkan untuk kedalaman $> 30 \text{ m}$ bisa digunakan rumus berikut.

$$r_d = 0.5 \text{ untuk } z > 30 \text{ m} \dots \dots \dots (13)$$

Dimana :

$$Z = \text{Kedalaman tanah (m)}$$

Dalam Persamaan (10) dan Persamaan (13), untuk nilai magnitudo gempa dalam perhitungan SRF, digunakan magnitudo gempa acuan menurut NCEER, yaitu 7.5 SR. Nilai r_d akan berdampak pada besaran nilai perhitungan CSR karena semakin rendah nilai r_d maka semakin rendah pula nilai CSR yang menandakan semakin kecil potensi terjadinya likuifaksi.

2.5.5 *Cyclic Stress Ratio (CSR)*

Cyclic Stress Ratio (CSR) merupakan parameter yang menggambarkan besarnya tegangan geser siklik yang dialami oleh lapisan tanah akibat pengaruh beban gempa bumi. Nilai CSR digunakan untuk menentukan potensi terjadinya likuefaksi, yaitu kondisi ketika tekanan pori air meningkat sehingga tanah kehilangan kekuatannya dan berperilaku seperti fluida.

Secara umum, nilai CSR dihitung berdasarkan hubungan antara tegangan geser maksimum yang dihasilkan oleh gempa terhadap tegangan efektif vertikal pada suatu kedalaman tertentu. Besarnya CSR dipengaruhi oleh percepatan gempa di permukaan tanah, kedalaman lapisan tanah, serta berat jenis tanah dan air pori. Rasio stres siklik dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$CSR = 0,65 \times \frac{a_{max}}{g} \times \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \cdot rd \dots \dots \dots (14)$$

Dimana :

- CSR = Tegangan siklik yang menyebabkan likuifaksi
 a_{max} = Percepatan gempa dasar
 g = Percepatan gravitasi bumi (9.81)
 σ'_v = Tegangan vertikal efektif tanah (kN/m²)
 σ_v = Tegangan vertikal total tanah (kN/m²)
 rd = Faktor reduksi terhadap tegangan

2.5.6 *Cyclic Resistance Ratio (CRR)*

Cyclic Resistance Ratio (CRR) merupakan parameter yang menunjukkan kemampuan atau ketahanan tanah dalam menahan tegangan geser siklik akibat gempa tanpa mengalami likuifaksi. Dengan kata lain, CRR menggambarkan daya tahan tanah terhadap beban gempa berulang sebelum kehilangan kekuatannya. Penentuan nilai CRR biasanya didasarkan pada hasil uji lapangan seperti *Standard Penetration Test (SPT)*, *Cone Penetration Test (CPT)*, atau *Shear Wave Velocity (Vs)*. Nilai CRR menggambarkan kapasitas siklik tanah pada kondisi lapangan tertentu, yang kemudian dibandingkan dengan *Cyclic Stress Ratio (CSR)* untuk menilai potensi likuifaksi.. Faktor Skala Magnitudo (MSF) adalah faktor yang diajukan oleh Seed dan Idriss pada tahun 1982 disebabkan oleh keterbatasan materi

dalam membedakan kondisi tanah yang mengalami likuifaksi dan yang tidak pada perhitungan CRR untuk gempa dengan magnitudo selain 7.5 SR. Nilai MSF dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$MSF = 6,0 \cdot \exp\left(\frac{-mw}{4}\right) - 0.058 \leq 1.8 \dots \dots \dots (15)$$

Dimana :

MSF = *Magnitude scaling factors*

Mw = Magnitudo gempa

Sedangkan untuk nilai faktor koreksi *overburden* dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$K_{\sigma} = \left(\frac{\sigma_v}{p_a}\right)^f \dots \dots \dots (16)$$

$$f = 0.831 - \frac{(N1)60cs}{160} \dots \dots \dots (17)$$

Dimana :

K_{σ} = Faktor koreksi *overburden*

σ_v = Tegangan vertikal total tanah (kN/m²)

p_a = Tegangan atmosfer 100 kPa (1 atm)

f = Faktor kerapatan relatif tanah

Perhitungan CRR menggunakan metode NCEER/NSF yang menggambarkan ketahanan tanah terhadap likuifaksi pada tahun 1998, atau dengan kata lain analisis potensi terjadinya likuifaksi. Metode tersebut menghasilkan evaluasi nilai CRR menggunakan data SPT yang telah diuji selama bertahun-tahun, sehingga diperoleh kurva hubungan antara *cyclic resistance ratio* (CRR) dan N-spt yang dikoreksi, yang berlaku hanya untuk perhitungan dengan magnitudo 7.5 SR.

Dengan menggunakan metode tersebut, diperoleh metode evaluasi nilai CRR yang memanfaatkan nilai hasil SPT yang telah diuji selama bertahun-tahun, sehingga diperoleh kurva hubungan antara *cyclic resistance ratio* (CRR) dan N-SPT yang telah dikoreksi, dan hanya berlaku untuk perhitungan dengan magnitudo 7.5 SR.

Pada skala gempa yang lebih rendah atau lebih tinggi dari 7.5 SR, rumus CRR yang dipakai yaitu:

$$CRR_{Mw} = CRR_{7,5} \cdot K_{\sigma} \cdot MSF \dots \dots \dots (18)$$

Untuk skala gempa referensi sebesar 7.5 SR, digunakan persamaan berikut:

$$CRR_{7,5} = \exp \left\{ \left[\frac{(N_1)60cs}{14,1} \right] + \left[\frac{(N_1)60cs}{14,1} \right]^2 - \left[\frac{(N_1)60cs}{14,1} \right]^3 + \left[\frac{(N_1)60cs}{14,1} \right]^4 - 2,8 \right\} \dots \dots \dots (19)$$

Dimana :

CRR = Kemampuan tanah untuk menahan likuifaksi

CRR_{Mw} = *Cyclic resistance ratio* pada skala tertentu

CRR_{7,5} = *Cyclic resistance ratio* pada skala 7.5 SR

2.5.7 Safety factor

Adalah suatu ukuran untuk memahami faktor perlindungan dari likuifaksi. Perhitungan faktor keamanan tanah terhadap likuifaksi dapat dilakukan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \dots \dots \dots (20)$$

Dimana :

$$FS = \frac{CRR}{CSR} < 1 \quad (\text{terjadi likuifaksi})$$

$$FS = \frac{CRR}{CSR} = 1 \quad (\text{kondisi kritis})$$

$$FS = \frac{CRR}{CSR} > 1 \quad (\text{tidak terjadi likuifaksi})$$

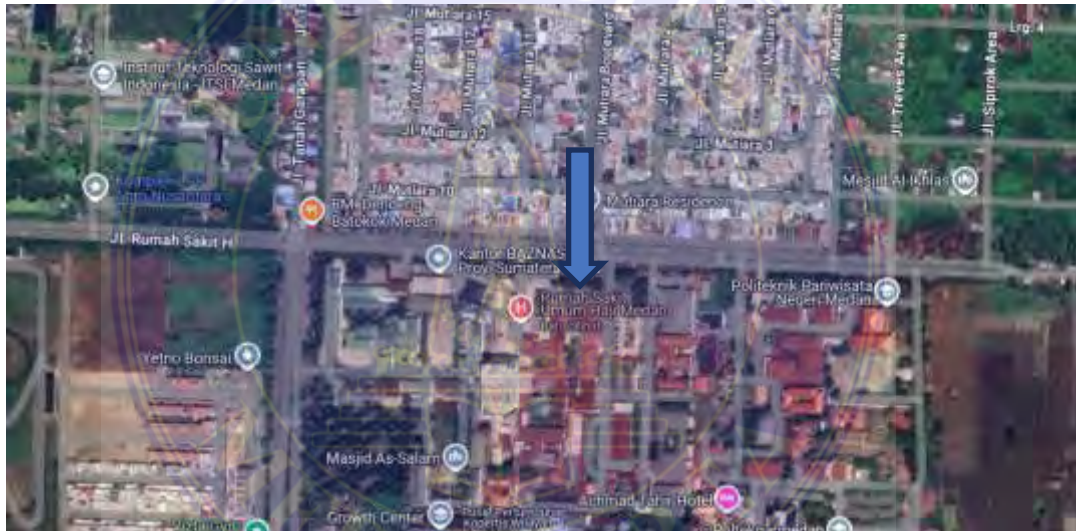


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Peneliitan

Lokasi penelitian yang diteliti oleh penulis berada di Jl. Rumah Sakit H. No.47, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. Pada gambar (7) di bawah ini merupakan lokasi Proyek Pembangunan Rumah Sakit Haji Medan.



Gambar 7. Lokasi Penelitian (*Google Earth*, 2025)

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang berkaitan dalam penyusunan skripsi ini terbagi menjadi 2 (dua) kategori data, yaitu data primer dan data sekunder.

3.2.1 Data Primer

Merupakan jenis data yang diambil secara langsung dari lokasi, yaitu informasi mengenai proyek tersebut yang berkaitan dengan penelitian ini, yakni data laboratorium.

a. Data Log Pengeboran

Data ini adalah hasil pengujian *standar penetration test*, yang mana data tersebut dikenal sebagai log pengeboran. Log pengeboran data yang memuat dua titik yaitu BH-1 dan BH-2.

Tabel 8. *Drilling Log* BH-1 (Data Proyek, 2025)

Soil Investigation RS Haji Medan			
Depth	z (m)	NSPT	Description
1.00 - 1.45	1,45	5	Sand
3.00 - 3.45	3,45	0	Clayey Silt
5.00 - 5.45	5,45	12	Clayey Silt
7.00 - 7.45	7,45	9	Clayey Silt
9.00 - 9.45	9,45	5	Silty Clay
11.00 - 11.45	11,45	23	Silty Clay
13.00 - 13.45	13,45	28	Sand
15.00 - 15.45	15,45	12	Silty Clay
17.00 - 17.45	17,45	14	Silty Clay
19.00 - 19.45	19,45	16	Silty Clay
21.00 - 21.45	21,45	25	Silty Clay
23.00 - 23.45	23,45	28	Sand
25.00 - 25.45	25,45	21	Sand
27.00 - 27.45	27,45	19	Sand
28.50 - 28.95	28,95	22	Sand
30.00 - 30.45	30,45	22	Sand

Merujuk pada Tabel (8), dapat dilihat bahwa jenis tanah di titik BH-1 rata-rata terdiri dari *silt* dan *sand*, yang mana jenis tanah tersebut memenuhi kriteria untuk potensi terjadinya likuifaksi. Namun, terdapat tiga lapisan dengan jenis tanah *clay* yang akan tetap dianalisis

Tabel 9. *Drilling Log* BH-2 (Data Proyek, 2025)

Soil Investigation RS Haji Medan				
Depth	z (m)	NSPT	Description	
1.00 - 1.45	1,45	8	Silty Clay	
3.00 - 3.45	3,45	3	Silty Clay	
5.00 - 5.45	5,45	5	Clayey Silt	
7.00 - 7.45	7,45	8	Clayey Silt	
9.00 - 9.45	9,45	7	Clayey Silt	
11.00 - 11.45	11,45	6	Sand	
13.00 - 13.45	13,45	13	Sand	
15.00 - 15.45	15,45	13	Silty Clay	
17.00 - 17.45	17,45	8	Silty Clay	
19.00 - 19.45	19,45	14	Clayey Silt	
21.00 - 21.45	21,45	16	Silty Clay	
23.00 - 23.45	23,45	20	Sand	
25.00 - 25.45	25,45	23	Sand	
27.00 - 27.45	27,45	21	Sand	
28.50 - 28.95	28,95	21	Sand	
30.00 - 30.45	30,45	24	Sand	

Berdasarkan Tabel (9), dapat diketahui bahwa jenis tanah pada titik BH-2 didominasi oleh jenis tanah *silt* dan *sands*. Namun, terdapat tiga lapisan dengan jenis tanah *clay* yang akan tetap dianalisis.

3.2.2 Data Sekunder

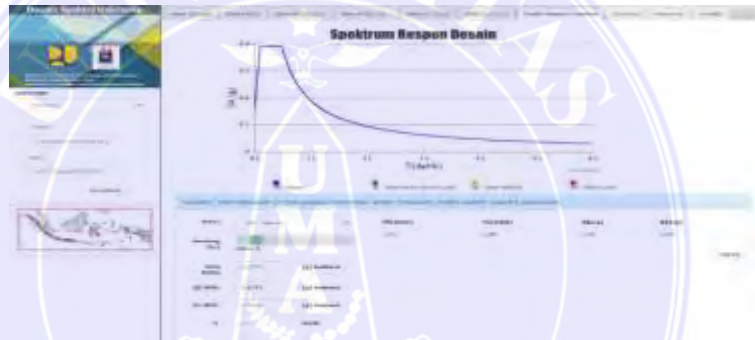
Merupakan informasi yang didapat secara tidak langsung, yaitu dari jurnal dan website Puskim PU untuk mengetahui data nilai percepatan gempa di lokasi penelitian, yaitu:

- a. Nilai Percepatan Gempa (PGA) Puskim PU: Aplikasi Spektra Desain Indonesia Puskim PU merujuk pada Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 yang dibuat oleh Tim Pusat Studi Gempa Nasional

(PuSGeN), Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman, Balitbang, serta Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.



Gambar 8. Depan Web Desain Spektra Indonesia Puskim PU (rsa.ciptakarya.pu.go.id)

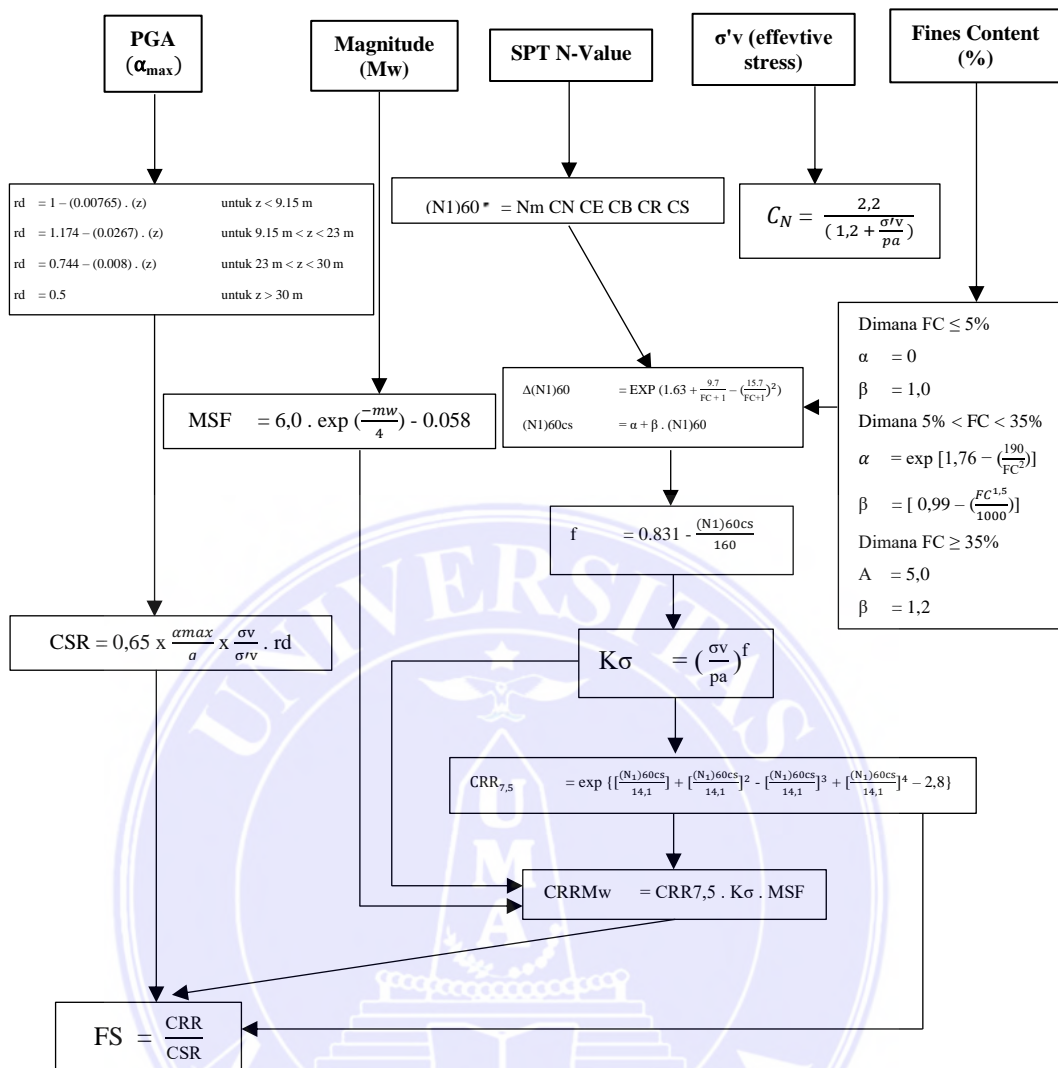


Gambar 9. Hasil Nilai Percepatan Gempa Dasar Puskim PU (rsa.ciptakarya.pu.go.id)

Berdasarkan Gambar (8) dan Gambar (9), nilai PGA untuk area Proyek Pembangunan Rumah Sakit Haji Medan adalah 00.2975 g.

3.3 Alur Perhitungan

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif untuk menilai risiko bahaya likuifaksi dengan memanfaatkan konsep metode perhitungan Youd-Idriss 2001 dan metode Idriss Boulanger 2008. Metode yang ditunjukkan pada Gambar (10) dilakukan dengan menghitung faktor keamanan (FS) akibat gempa berdasarkan hasil perhitungan kapasitas tanah menahan likuifaksi akibat gempa (CRR) dan stres geser tanah akibat gempa (CSR).



Gambar 10. Metode Youd-Idriss 2001 dan Idriss-Bowlinger 2008 (Mase, L.Z., Studi Keandalan Metode Analisis Likuifaksi Menggunakan SPT, 2018)

3.4 Tahap Penelitian

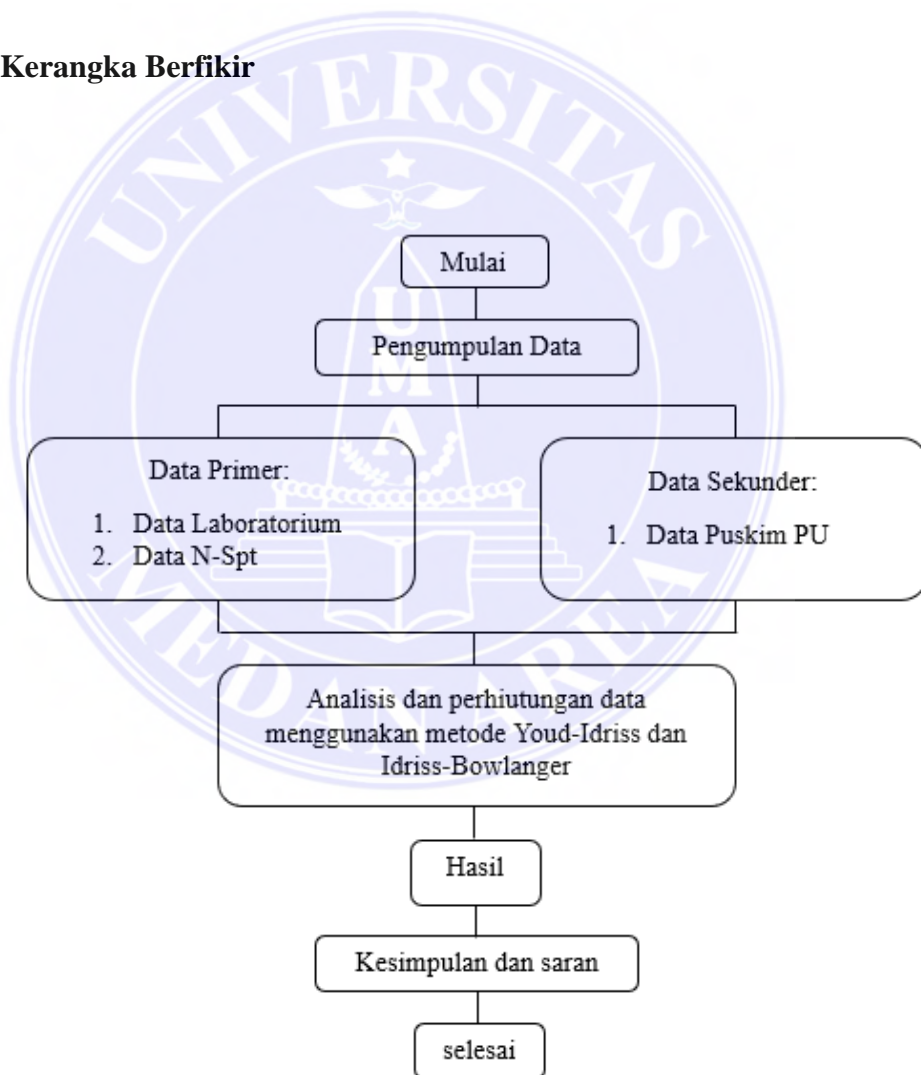
Merupakan sebuah rencana awal untuk penetapan dari pengumpulan data sampai data diperoleh dan diproses guna menghasilkan hasil dan kesimpulan akhir.

Tahapan persiapan yang dilakukan meliputi:

1. meninjau jurnal, buku, dan tesis yang berkaitan dengan analisis potensi likuifaksi.

2. Menetapkan dan menyusun daftar informasi yang diperlukan untuk melaksanakan penelitian.
3. Mengumpulkan data yang diperoleh dari perusahaan yang melaksanakan Proyek Pembangunan Rumah Sakit Haji Medan.
4. Melaksanakan proses dan analisis perhitungan dengan metode yang telah ditentukan sebelumnya pada data-data yang telah diperoleh. Menyusun kesimpulan dan rekomendasi sebagai langkah terakhir dari penelitian.

3.5 Kerangka Berfikir



Gambar 11. bagan alir penelitian (analisis peneliti, 2025)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan hasil pembahasan bab iv, diperoleh bahwa lapisan tanah pada *bore hole* 1 dengan *magnitude* 5 SR mengalami satu potensi terjadinya likuifaksi yaitu pada lapisan tanah satu pada kedalaman 1.45 m dengan nilai $FS = 0.52$, untuk *magnitude* 5.5 SR, 6 SR, 6.5 SR dan 7 SR mengalami dua potensi terjadinya likuifaksi yang sama yaitu pada lapisan tanah satu dan dua pada kedalaman 1.45 dan 3.45 m untuk nilai faktor keamanannya yaitu $FS_{5.5} = 0.48$ dan 0.95 , $FS_6 = 0.42$ dan 0.84 , $FS_{6.5} = 0.37$ dan 0.73 , $FS_7 = 0.33$ dan 0.64 . Dan untuk *magnitude* 7.5 SR tidak mengalami potensi terjadinya likuifaksi.

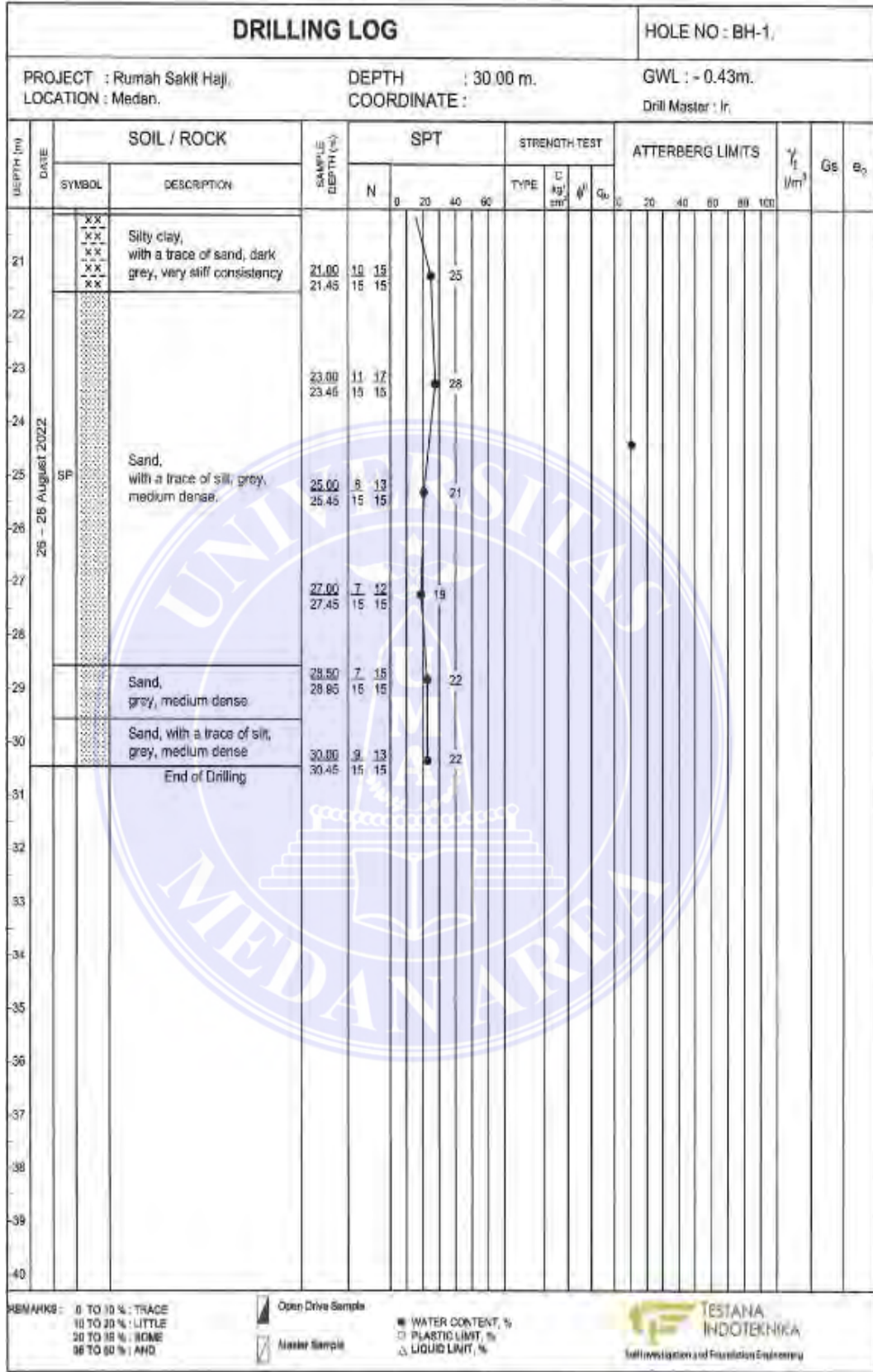
Untuk kondisi lapisan tanah pada *bore hole* 2 dengan *magnitude* 7 SR dan 6.5 SR tidak ada yang mengalami terjadinya potensi likuifaksi namun terdapat kondisi kritis pada lapisan tanah satu dan dua dengan kedalaman 1.45 dan 3.45 m untuk nilai $FS = 1$, Untuk *magnitude* 5 SR, 5.5 SR, 6 SR, dan 7.5 SR tidak ada mengalami potensi terjadinya likuifaksi.

5.2 Saran

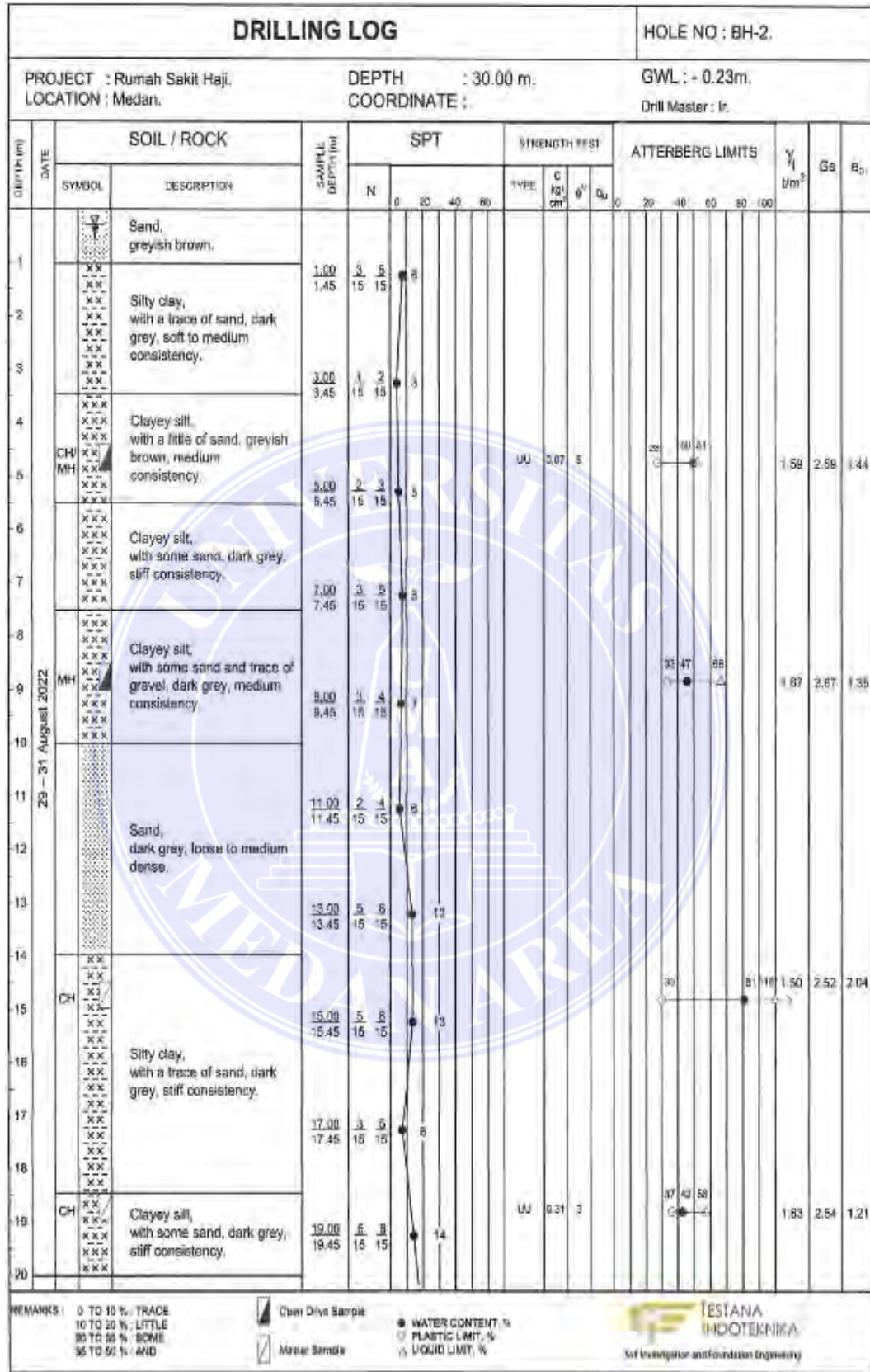
Penelitian ini masih bisa ditingkatkan dengan menggunakan metode yang berbeda untuk memperoleh hasil yang lebih optimal dan juga diperlukan untuk kelengkapan data laboratorium tanah supaya lebih lengkap lagi sehingga sebagian data tidak perlu menggunakan nilai korelasi NSPT selain itu perlu menggunakan software tambahan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

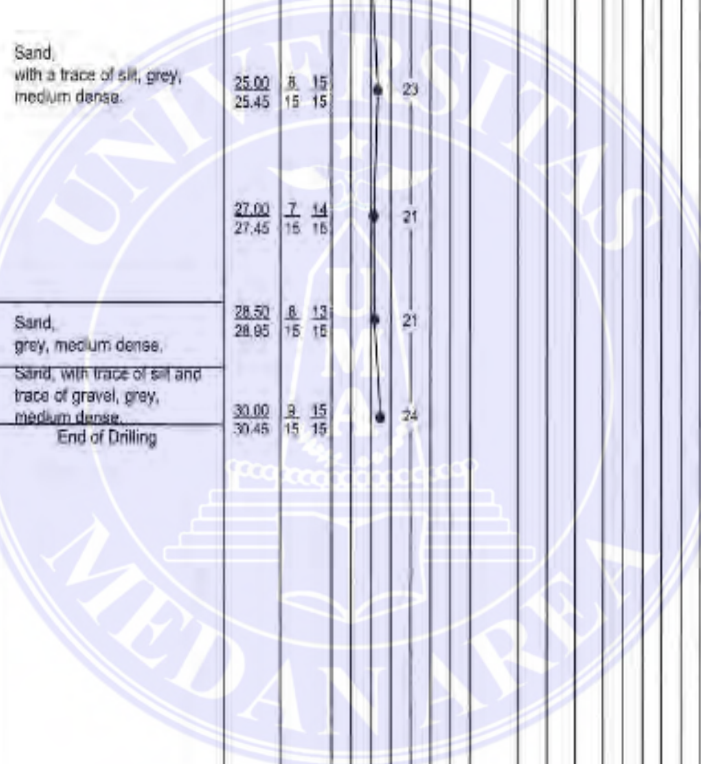
- Badan Geologi. 2019. Atlas Zona Likuefaksi Indonesia, Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT SNI 4153:2008, Bandung.
- Baxter, S. J. 2000. Delaware Special Publication No. 23: Earthquake Basic. Geology, University of Delaware.
- Bowles, J.E. 1989. Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. Erlangga. Jakarta
- Butts, N. 1994. Soil Investigations. Developments in Geotechnical Engineering, 75(C), 60–104.
- California Department of Transportation. 2016. USCS Classification System. In Journal of Economic Literature (Vol. 54, Issue 4, pp. 1535–1550).
- 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.
- Gill, M. 2022. Soil Texture Triangle.
- Hutagalung, Mario, and Simon Dertha Tarigan. 2019. “Analisis Potensi Likuefaksi Akibat Gempa.” *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)* 2(1):15–34.
- Idriss, I. M. 1982. Liquefaction of Soils During Earthquakes. In NATO Advanced Study Institutes Series, Series C: Mathematical and Physical Sciences (Vol. 92).
- Idriss, I. M., & Boulanger, R. W. 2008. Soil Liquefaction During Earthquakes(2nd Editio). Earthquake Engineering Research Institute.
- Kementrian ESDM. 2021. Skala MMI (Modified Mercally Intensity).
- Kusumawardani, R. (n.d.). Prosedur analisis liquefaction dengan menggunakan metode semi empiris. 1–10.
- Mase, L. Z. 2018. Studi Keandalan Metode Analisis Likuefaksi Menggunakan SPT Akibat Gempa 8,6 Mw, 12 September 2007 di Area Pesisir Kota Bengkulu. *Jurnal Teknik Sipil*, 25(1), 53.
- Hutagalung, Mario, and Simon Dertha Tarigan. 2019. “Analisis Potensi Likuefaksi Akibat Gempa.” *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)* 2(1):15–34.
- Munirwansyah, Halida Yunita, and Reza P. Munirwan. 2017. “Kajian Potensial Likuefaksi Akibat Gempa Berdasarkan Data Spt-N Di Wilayah Provinsi Aceh.” *Prosiding Simposium II - UNIID* (September):457–63.
- Sasanti, Carolina Ardhylla. 2015. “Studi Potensi Soil Liquefaction Di Rencana Lokasi Genting Oil Kasuri Papua Barat.” 96.
- Tarigan, Henriko, and Rasdinanta Tarigan. 2022. “Analisis Potensi Likuefaksi Pada Kawasan Medan Belawan.” *Portal: Jurnal Teknik Sipil* 14(1):41. doi: 10.30811/portal.v14i1.2875.
- Yi, F. 2014. Esitimating Soil Fines Contents from CPT Data. Cpt’ 14, April. Zoomlion. 2015. ZR160A1 Spesification. Zoomlion.





Lampiran 1 Data Bore Log 1 Pada Proyek Pembangunan Rumah Sakir Haji Medan







DRILLING LOG										HOLE NO : BH-2.										
PROJECT : Rumah Sakir Haji LOCATION : Medan.				DEPTH : 30.00 m. COORDINATE :			GWL : - 0.23m. Drill Master : Ir													
DEPTH (m)	DATE	SOIL / ROCK		SAMPLE DEPTH (m)	SPT				STRENGTH TEST			ATTERBERG LIMITS					γ_t t/m ³	Gs	θ_u	
		SYMBOL	DESCRIPTION		N	f	20	40	60	TYPE	C kg/cm ²	ϕ^u	Q _u	0	20	40				60
21	28 - 31 August 2022	XX XX XX XX	Silty clay, with a trace of sand, dark grey, very stiff consistency	21.00 21.45	7 15	8 15														
22																				
23					23.00 23.45	8 15	12 15													
24																				
25			SP SM	Sand, with a trace of silt, grey, medium dense.	25.00 25.45	8 15	15 15													
26																				
27				27.00 27.45	7 15	14 15														
28																				
29			Sand, grey, medium dense.	28.50 28.95	8 15	13 15														
30		SP SM	Sand, with trace of silt and trace of gravel, grey, medium dense.	30.00 30.45	8 15	15 15														
31			End of Drilling																	
32																				
33																				
34																				
35																				
36																				
37																				
38																				
39																				
40																				



REMARKS : 0 TO 10 % | TRACE
10 TO 20 % | LITTLE
20 TO 35 % | SOME
35 TO 60 % | AND

 Open Drive Sample
 Molar Sample

 WATER CONTENT, %
 PLASTIC LIMIT, %
 LIQUID LIMIT, %

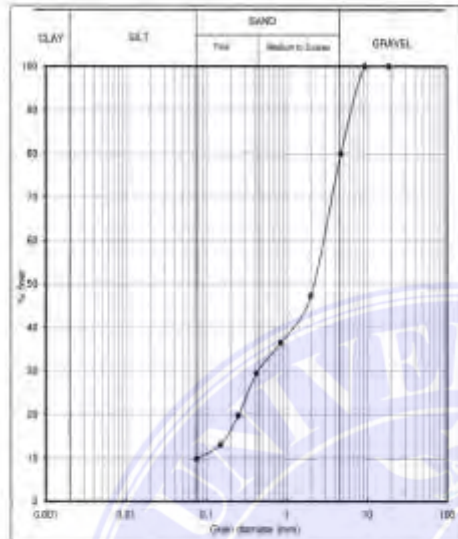

Solusi Integrasi dan Inovasi dalam Engineering

lampiran 2 Data *Bore Log* 2 Pada Proyek Pembangunan Rumah Sakir Haji Medan



GRAIN SIZE ANALYSIS

PROJECT : Runnat (Soil Hg)
 LOCATION : Medan
 BORING No. : BH-1
 DEPTH : 2.50-3.00m
 DATE : October 2022
 TESTED BY : Dn
 CHECKED BY : Yu

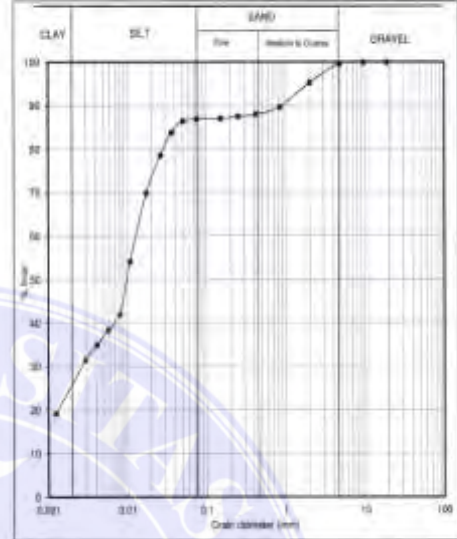


Visual soil description : Sand, with trace of silt and some gravel, dark grey
 Soil classification (System USCS) : SP-SM



GRAIN SIZE ANALYSIS

PROJECT : Runnat (Soil Hg)
 LOCATION : Medan
 BORING No. : BH-1
 DEPTH : 3.50-4.00m
 DATE : October 2022
 TESTED BY : Dn
 CHECKED BY : Yu

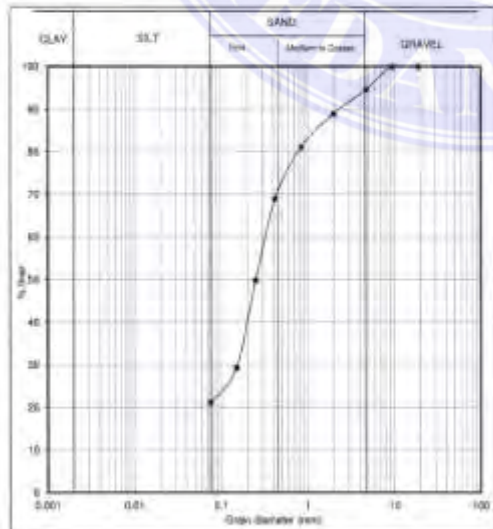


Visual soil description : Silty clay, with a little of sand, greyish brown
 Soil classification (System USCS) : CH



GRAIN SIZE ANALYSIS

PROJECT : RS Hg
 LOCATION : Medan
 BORING No. : BH-1
 DEPTH : 10.00-10.50m
 DATE : September 2022
 TESTED BY : Dn
 CHECKED BY : RA

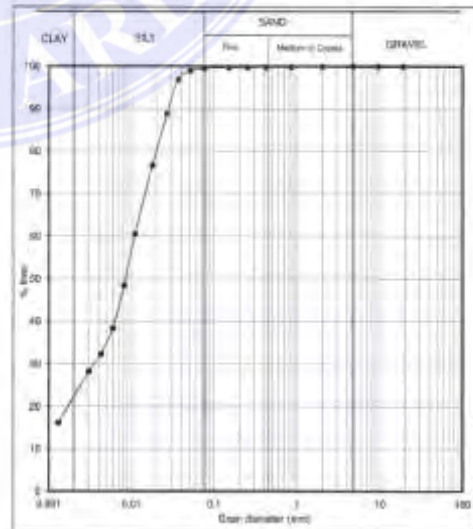


Visual soil description : Silty sand, with a trace of gravel, brownish grey
 Soil classification (System USCS) : SM



GRAIN SIZE ANALYSIS

PROJECT : Runnat (Soil Hg)
 LOCATION : Medan
 BORING No. : BH-1
 DEPTH : 18.50-19.00m
 DATE : October 2022
 TESTED BY : Dn
 CHECKED BY : Yu

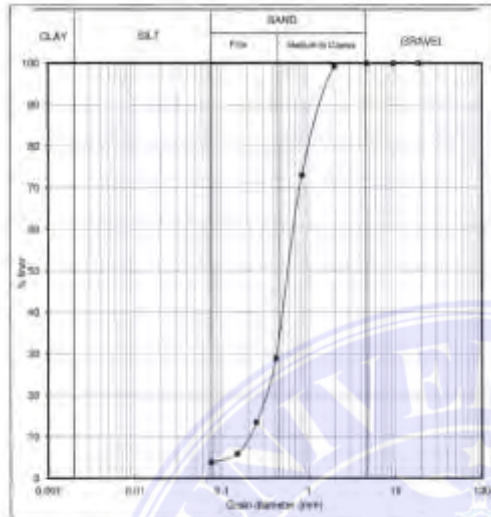


Visual soil description : Silty clay, grey
 Soil classification (System USCS) : CH



GRAIN SIZE ANALYSIS

PROJECT : RS-1101 DATE : September 2022
 LOCATION : Medan TESTED BY : Dh.
 BORING No. : BH-1 CHECKED BY : RA.
 DEPTH : 22.00-23.50m.

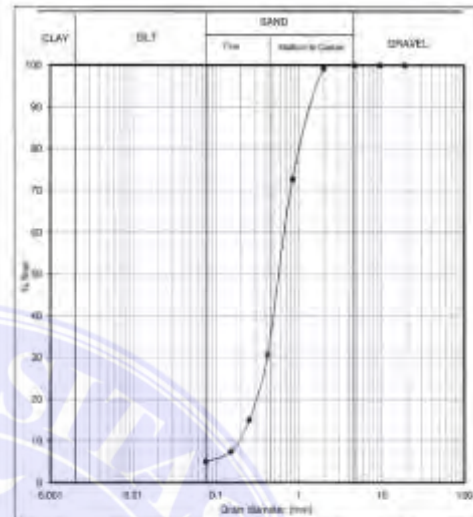


Visual soil description : Sand, with a trace of silt, clay
 Soil classification (System UCS) : SP



GRAIN SIZE ANALYSIS

PROJECT : RS-1101 DATE : September 2022
 LOCATION : Medan TESTED BY : Dh.
 BORING No. : BH-1 CHECKED BY : RA.
 DEPTH : 25.00-25.50m.

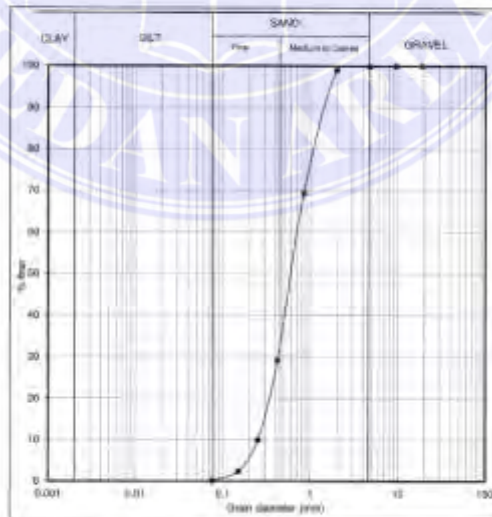


Visual soil description : Sand, with a trace of silt, clay
 Soil classification (System UCS) : SP



GRAIN SIZE ANALYSIS

PROJECT : RS-1101 DATE : September 2022
 LOCATION : Medan TESTED BY : Dh.
 BORING No. : BH-1 CHECKED BY : RA.
 DEPTH : 29.00-29.50m.



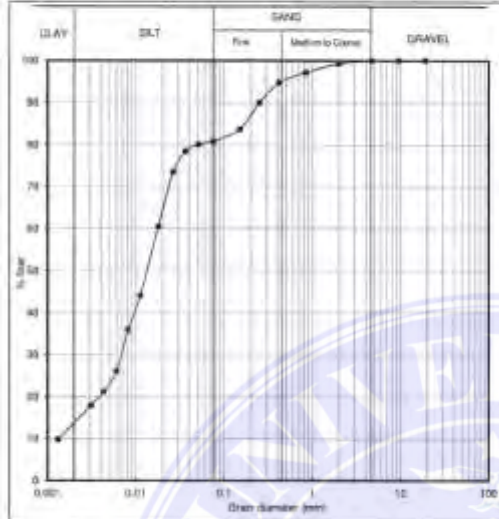
Visual soil description : Sand, grey
 Soil classification (System UCS) : SP

lampiran 3 Data Grain Size Analysis Pada BH-1



GRAIN SIZE ANALYSIS

PROJECT : Rumoh Sari Hoj
 LOCATION : Medan
 BORING No : BH-1
 DEPTH : 8.50-9.00m
 DATE : October 2022
 TESTED BY : Dh
 CHECKED BY : YL



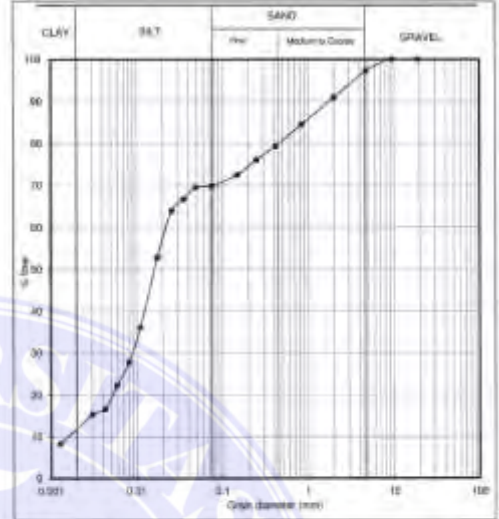
Soil Type	Silt & Clay	Sand	Gravel
Percentage (%)	80.80	19.20	0.00

Visual soil description : Clayey silt with a little of sand, greyish brown.
 Soil classification (System USCS) : CH/WH



GRAIN SIZE ANALYSIS

PROJECT : Rumoh Sari Hoj
 LOCATION : Medan
 BORING No : BH-2
 DEPTH : 8.50-9.00m
 DATE : October 2022
 TESTED BY : Dh
 CHECKED BY : YL



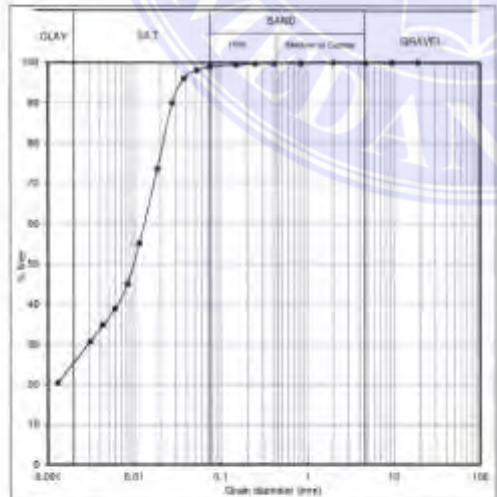
Soil Type	Silt & Clay	Sand	Gravel
Percentage (%)	60.70	27.80	2.77

Visual soil description : Clayey silt with some sand and trace of gravel, dark grey.
 Soil classification (System USCS) : MI



GRAIN SIZE ANALYSIS

PROJECT : Rumoh Sari Hoj
 LOCATION : Medan
 BORING No : BH-2
 DEPTH : 14.00-14.50m
 DATE : October 2022
 TESTED BY : Dh
 CHECKED BY : YL



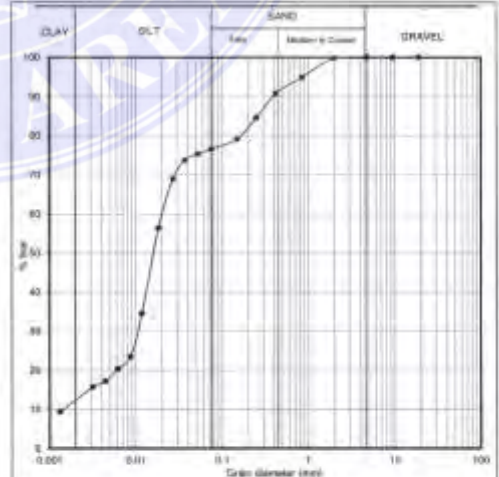
Soil Type	Silt & Clay	Sand	Gravel
Percentage (%)	99.00	1.00	0.00

Visual soil description : Silty clay with a trace of sand, dark grey
 Soil classification (System USCS) : CH



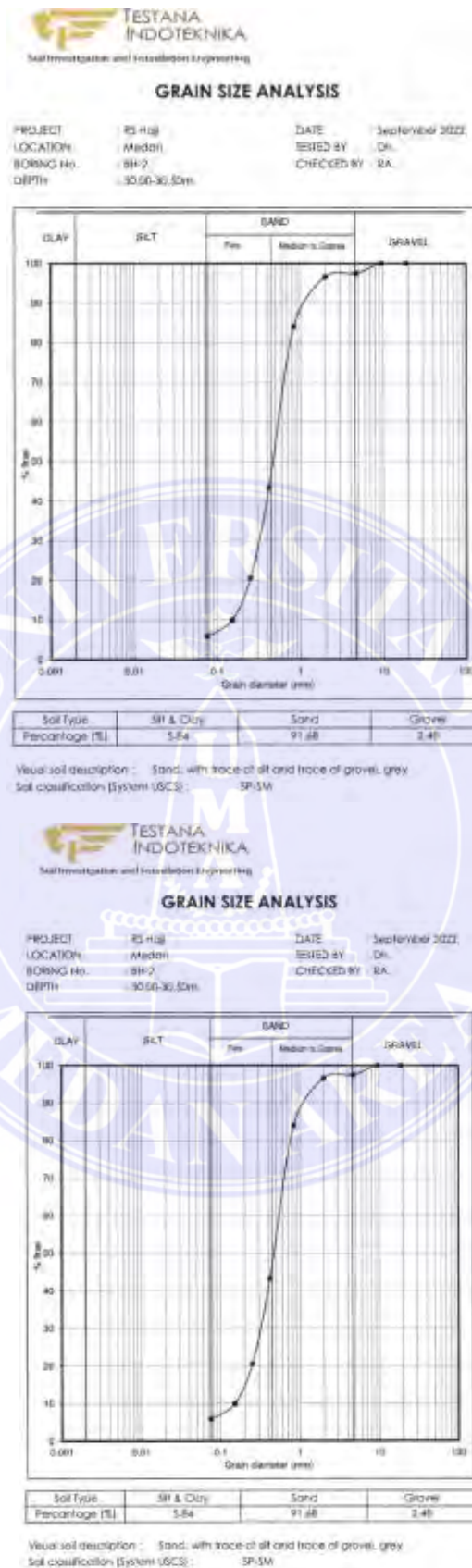
GRAIN SIZE ANALYSIS

PROJECT : Rumoh Sari Hoj
 LOCATION : Medan
 BORING No : BH-2
 DEPTH : 18.50-19.00m
 DATE : October 2022
 TESTED BY : Dh
 CHECKED BY : YL

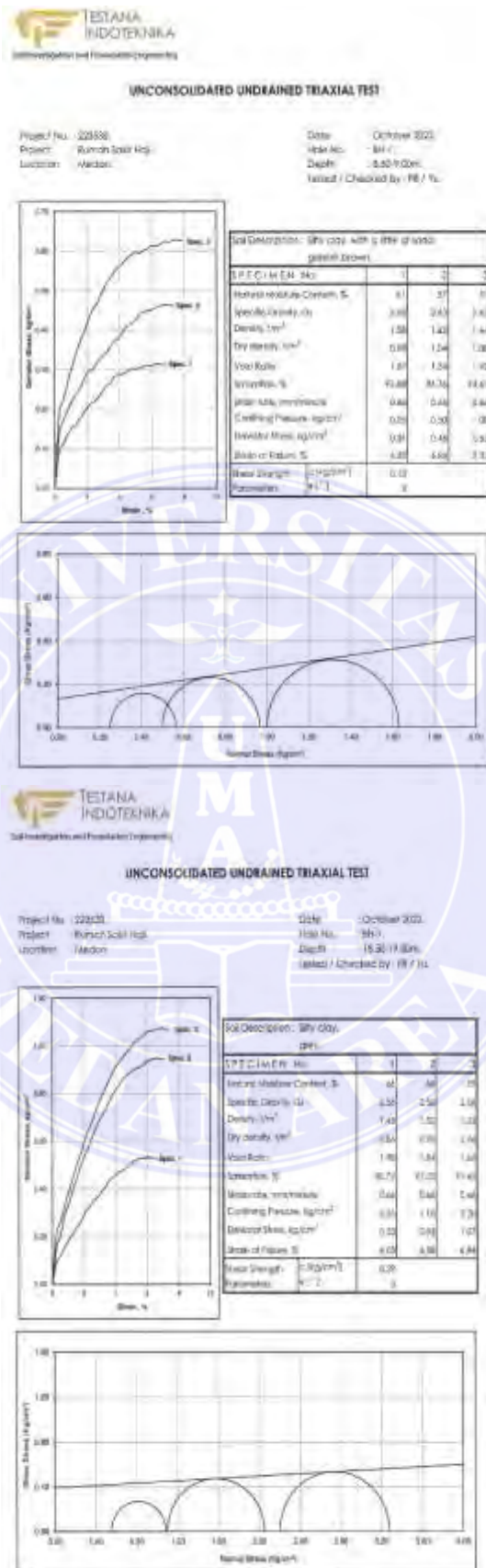


Soil Type	Silt & Clay	Sand	Gravel
Percentage (%)	76.39	23.41	0.00

Visual soil description : Clayey silt with some sand, dark grey
 Soil classification (System USCS) : MI



lampiran 4 Data *Grain Size Analysis* Pada BH-2

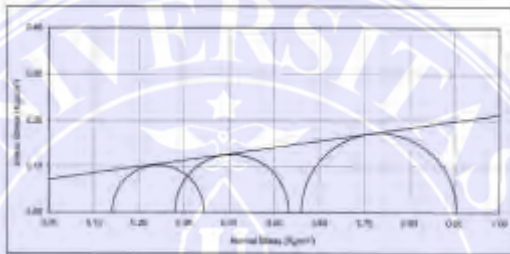
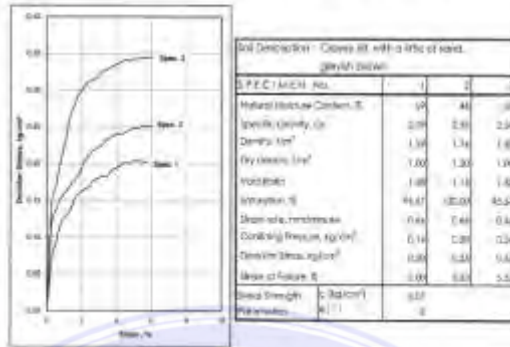


lampiran 5 unconsolidated undrained triaxial test BH-1



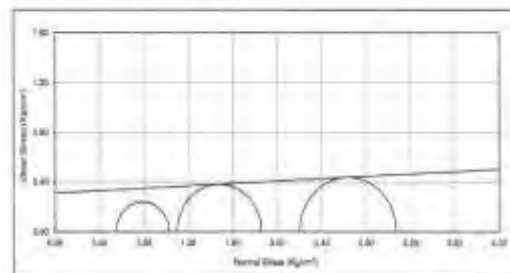
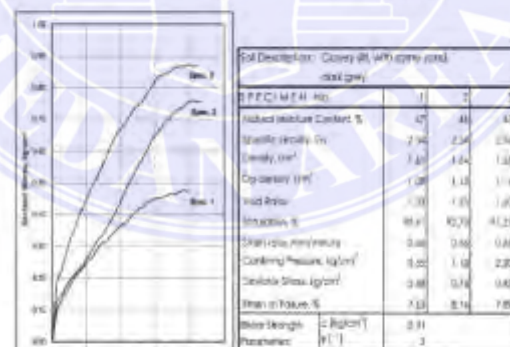
UNCONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL TEST

Project No : 20308
 Project : Runtan Selti Has
 Location : MAMU
 Date : October 2022
 Hole No : BH 2
 Depth : 4.30 (100m)
 Tester / Checked by : M / Y



UNCONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL TEST

Project No : 20308
 Project : Runtan Selti Has
 Location : Mamu
 Date : October 2022
 Hole No : BH 2
 Depth : 4.30 (100m)
 Tester / Checked by : M / Y



lampiran 6 unconsolidated undrained triaxial test BH-2



lampiran 7 Denah lokasi titik pengujian RS haji