

**POTENSI LIKUIFAKSI PADA PROYEK PENGEMBANGAN
INFRASTRUKTUR JALAN DI BANDARA KUALANAMU
BERDASARKAN SNI 1726 : 2019**

SKRIPSI

OLEH:

**SAMUEL PARLINDUNGAN HUTAGAOL
198110047**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 26/3/24

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)26/3/24

**POTENSI LIKUIFAKSI PADA PROYEK PENGEMBANGAN
INFRASTRUKTUR JALAN DI BANDARA KUALANAMU
BERDASARKAN SNI 1726 : 2019**

SKRIPSI

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



Oleh:

**SAMUEL PARLINDUNGAN HUTAGAOL
198110047**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2024**

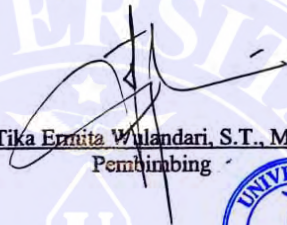
UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang


HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Potensi Likuifaksi Pada Proyek Pengembangan Infrastruktur Jalan Di Bandara Kualanamu Berdasarkan SNI 1726 : 2019
Nama : Samuel Parlindungan Hutagaol
NPM : 198110047
Fakultas : Teknik

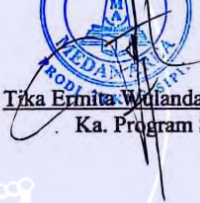
Disetujui Oleh:
Komisi Pembimbing


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




Dr. Eng. Subianto, S.T., M.T
Dekan

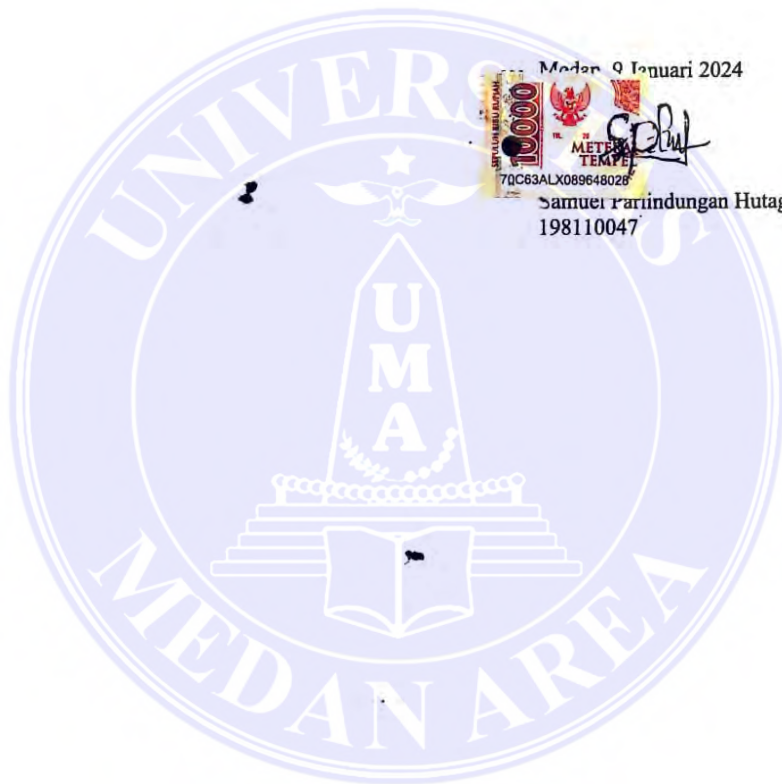



Tika Ernita Wulandari, S.T., M.T
Ka. Program Studi

Tanggal Lulus : 9 Januari 2024

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.



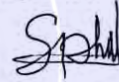
**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

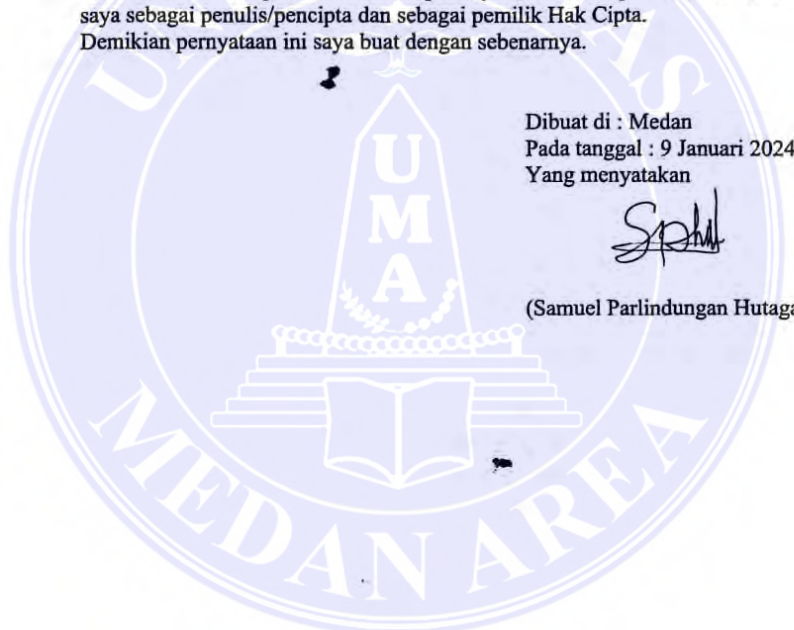
Nama : Samuel Parlindungan Hutagaol
NPM : 198110047
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non Exclusive Royalty Free-Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Potensi Likuifaksi Pada Proyek Pengembangan Infrastruktur Jalan Di Bandara Kualanamu Berdasarkan SNI 1726 : 2019. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneksklusif 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 : 9 Januari 2024
Yang menyatakan



(Samuel Parlindungan Hutagaol)



RIWAYAT HIDUP

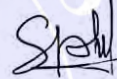
Samuel Parlindungan Hutagaol dilahirkan di Sumatera Utara, Kota Medan. Pada tanggal 21 September 2001 dari pasangan Ayah N. Hutagaol dan Ibu R. Sitohang. Samuel Parlindungan Hutagaol merupakan putra ke 2 dari 2 bersaudara. Tahun 2019 Penulis lulus dari SMA Negeri 1 Percut Sei Tuan dan pada tahun 2019 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Selama mengikuti perkuliahan penulis menjadi asisten mata kuliah Pengantar Teknologi Dan Informasi pada tahun ajaran 2019/2020 pada tahun 2023 Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Proyek Pembangunan Sekolah Maitreyawira Cemara



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 kebencanaan dengan judul Potensi Likuifaksi Pada Proyek Pengembangan Infrastruktur Jalan Di Bandara Kualanamu Berdasarkan SNI 1726 : 2019. Terima kasih penulis sampaikan kepada Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dan juga selaku Ka. Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu juga penghargaan penulis sampaikan banyak terima kasih kepada para dosen beserta staff kantor maupun lapangan, para alumni dan teman-teman saya yang telah banyak membantu penulis selama penyusunan skripsi. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada diri sendiri karena sampai sekarang dan detik ini sampai selamanya masih kuat menghadapi lika liku kehidupan perkuliahan dan pekerjaan 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



(Samuel Parlindungan Hutagaol)



ABSTRAK

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

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

ABSTRACT

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

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

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
RIWAYAT HIDUP	vi
KATA PENGHANTAR	vii
ABSTRAK.....	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR NOTASI.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Maksud Dan Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terdahulu	4
2.2 Tanah	7
2.2.1 USDA <i>Texture Triangle</i>	8
2.2.2 USCS (<i>Unified Soil Classification System</i>)	12
2.3 Gempa Bumi	15
2.3.1 Jenis-Jenis Sesar (Patahan)	15
2.3.2 Jenis-Jenis Gempa Bumi	17
2.3.3 Besar Kekuatan Gempa.....	18
2.3.4 Riwayat Gempa Bumi Di Sumatera Utara	21
2.4 Likuifaksi	22
2.4.1 Syarat Terjadinya Likuifaksi	23
2.4.2 Jenis-Jenis Likuifaksi	23
2.4.3 Metode Evaluasi Potensi Likuifaksi	25
2.4.4 Proses Terjadinya Likuifaksi	26
2.4.5 Dampak Terjadinya Likuifaksi	27
2.4.6 Histori Kasus Likufaksi di Indonesia	28
2.5 Parameter Identifikasi Potensi Likuifaksi	31
2.5.1 Tegangan Tanah.....	31
2.5.2 Nilai N-SPT, (N1)60 dan (N1)60cs	33
2.5.3 Percepatan Gempa Dasar (α_{max}).....	38
2.5.4 Stress Reduction Factor (rd)	39

2.5.5 Cyclic Stress Ratio (CSR).....	40
2.5.6 Cyclic Resistance Ratio (CRR).....	41
2.5.7 Factor of Safety (FS).....	44
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	46
3.1 Lokasi Penelitian	46
3.2 Teknik Pengumpulan Data.....	46
3.2.1 Data Primer	46
3.2.2 Data Sekunder	49
3.3 Evaluasi Potensi Likuifaksi Pada BH.01, dan BH.04	51
3.4 Alur Perhitungan	52
3.5 Tahapan Penelitian	53
3.6 Kerangka Berpikir	54
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Perhitungan Tegangan Tanah	55
4.1.1 Perhitungan Tegangan Tanah Pada BH.01	55
4.1.2 Perhitungan Tegangan Tanah Pada BH.04.....	58
4.2 Perhitungan Nilai $(N_1)_{60}$, dan $(N_1)_{60cs}$	61
4.2.1 Perhitungan $(N_1)_{60}$, dan $(N_1)_{60cs}$ Pada BH.01	61
4.2.2 Perhitungan $(N_1)_{60}$, dan $(N_1)_{60cs}$ Pada BH.04	65
4.3 Perhitungan Nilai Percepatan Gempa Dasar (α_{max}).....	68
4.3.1 Berdasarkan SNI 1726:2019.....	68
4.3.2 Berdasarkan Desain Spektra Indonesia PuskimPU	68
4.4 Perhitungan <i>Stress Reduction Factor</i> (rd).....	69
4.4.1 Perhitungan <i>Stress Reduction Factor</i> Pada BH.01	69
4.4.2 Perhitungan <i>Stress Reduction Factor</i> Pada BH.04.....	70
4.5 Perhitungan CSR Berdasarkan SNI 1726:2019	71
4.5.1 Perhitungan CSR Pada BH.01.....	71
4.5.2 Perhitungan CSR Pada BH.04	73
4.6 Perhitungan CSR Berdasarkan Puskim PU.....	74
4.6.1 Perhitungan CSR Pada BH.01.....	74
4.6.2 Perhitungan CSR Pada BH.04	75
4.7 Perhitungan <i>Cyclic Resistance Ratio</i>	77
4.7.1 Perhitungan $CRR_{6,5}$, $CRR_{7,5}$, CRR_8 , Pada BH.01.....	77
4.7.2 Perhitungan $CRR_{6,5}$, $CRR_{7,5}$, CRR_8 , Pada BH.04.....	82
4.8 Perhitungan <i>Factor of Safety</i> (FS) Berdasarkan SNI 1726:2019	87
4.8.1 Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Pada BH.01	88
4.8.2 Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Pada BH.04.....	90
4.9 Perhitungan <i>Factor of Safety</i> (FS) Berdasarkan Desain Spektra Indonesia PuskimPU.....	93
4.9.1 Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Pada BH.01	93
4.9.2 Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Pada BH.04.....	96
4.10 Pembahasan hasil perhitungan.....	99
4.10.1 Pembahasan Hasil Perhitungan Pada BH.01	99
4.10.2 Pembahasan Hasil Perhitungan Pada BH.04.....	104
4.10.3 Pembahasan Secara Umum	108

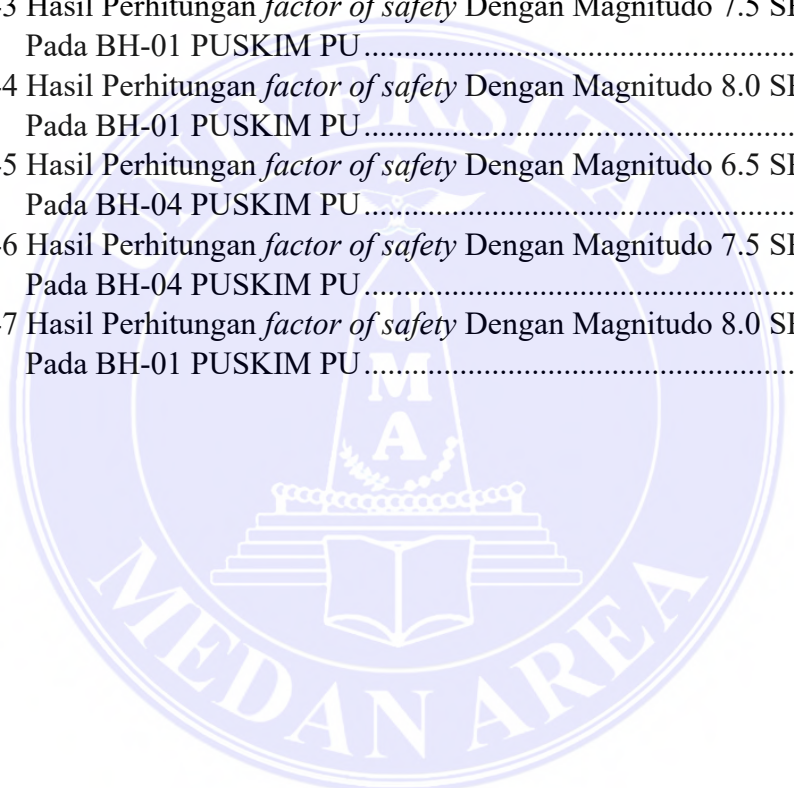
BAB V. SIMPULAN DAN SARAN	110
5.1 Kesimpulan	110
5.2 Saran	110
DAFTAR PUSTAKA	111
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Simbol Klasifikasi USCS	12
Tabel 2 Tanah Berbutir Kasar (<i>Coarse Grained Soils</i>)	13
Tabel 3 Tanah Berbutir Halus (<i>Fine Grained Soils</i>)	14
Tabel 4 Jenis Gempa Tektonik Berdasarkan Kedalaman Gempa	18
Tabel 5 Skala Intensitas Gempa Bumi BMKG	19
Tabel 6 <i>Magnitude</i> Gempa dan Pengaruh Gempa	20
Tabel 7 Data Gempa Bumi di Sumatera Utara dalam 50 Tahun Terakhir	22
Tabel 8 Perbedaan <i>Cyclic Liquefaction</i> dan <i>Flow Liquefaction</i>	24
Tabel 9 Histori Kejadian Likuifaksi di Pulau Sumatera	30
Tabel 10 Nilai Korelasi Parameter Tanah dengan N-SPT untuk Jenis Tanah Pasir (<i>Sand</i>) dan Lempung (<i>Clays</i>)	32
Tabel 11 Faktor Koreksi Uji SPT (<i>Skempton</i>)	34
Tabel 12 Tabel Nilai Korelasi Hubungan antara <i>Soil Behaviour Type Index</i> (<i>Ic</i>), <i>Fines Content</i> (%) dan Jenis Tanah Klasifikasi USCS	37
Tabel 13 <i>Drilling Log</i> BH.01	47
Tabel 14 <i>Drilling Log</i> BH.04	48
Tabel 15 Evaluasi Potensi Likuifaksi Pada BH.01, dan BH.04	51
Tabel 16 Hasil Perhitungan Interpolasi Berat Isi Tanah Pada BH.01	56
Tabel 17 Hasil Perhitungan Tegangan Vertikal Total Tanah, Tekanan Air Pori Tanah, dan Tegangan Vertikal Efektif Tanah Pada BH.01	58
Tabel 18 Hasil Perhitungan Interpolasi Berat Isi Tanah Pada BH.04	59
Tabel 19 Hasil Perhitungan Tegangan Vertikal Total Tanah, Tekanan Air Pori Tanah, dan Tegangan Vertikal Efektif Tanah Pada BH.04	61
Tabel 20 Hasil Perhitungan Nilai $(N_1)_{60}$ Pada BH.01	63
Tabel 21 Hasil Perhitungan Nilai $(N_1)_{60sc}$ Pada BH.01	64
Tabel 22 Hasil Perhitungan Nilai $(N_1)_{60}$ Pada BH.04	66
Tabel 23 Hasil Perhitungan Nilai $(N_1)_{60sc}$ Pada BH.04	67
Tabel 24 Hasil Perhitungan <i>Stress Reduction Factor</i> pada BH.01	70
Tabel 25 Hasil Perhitungan <i>Stress Reduction Factor</i> pada BH.04	71
Tabel 26 Hasil Perhitungan CSR pada BH.01 berdasarkan SNI 1726:2019 ...	72
Tabel 27 Hasil Perhitungan CSR pada BH.04 berdasarkan SNI 1726:2019 ...	74
Tabel 28 Hasil Perhitungan CSR pada BH.01 berdasarkan Desain Spektra Indonesia Puskim PU	75
Tabel 29 Hasil Perhitungan CSR pada BH.01 berdasarkan Desain Spektra Indonesia Puskim PU	76
Tabel 30 Hasil Perhitungan $CRR_{7,5}$ Pada BH.01	78
Tabel 31 Hasil Perhitungan $CRR_{6,5}$ Pada BH.01	80
Tabel 32 Hasil Perhitungan CRR_8 Pada BH.01	82
Tabel 33 Hasil Perhitungan $CRR_{7,5}$ Pada BH.04	83
Tabel 34 Hasil Perhitungan $CRR_{6,5}$ Pada BH.04	85
Tabel 35 Hasil Perhitungan CRR_8 Pada BH.04	87
Tabel 36 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 6.5 SR Pada BH-01	88

Tabel 37 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 7.5 SR Pada BH-01	89
Tabel 38 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 8.0 SR Pada BH-01	90
Tabel 39 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 6.5 SR Pada BH-04	91
Tabel 40 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 7.5 SR Pada BH-04	92
Tabel 41 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 8.0 SR Pada BH-04	93
Tabel 42 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 6.5 SR Pada BH-01 PUSKIM PU	94
Tabel 43 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 7.5 SR Pada BH-01 PUSKIM PU	95
Tabel 44 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 8.0 SR Pada BH-01 PUSKIM PU	96
Tabel 45 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 6.5 SR Pada BH-04 PUSKIM PU	97
Tabel 46 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 7.5 SR Pada BH-04 PUSKIM PU	98
Tabel 47 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 8.0 SR Pada BH-01 PUSKIM PU	99



DAFTAR GAMBAR

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>	11
Gambar 4 <i>Normal Fault</i>	16
Gambar 5 <i>Reverse Fault</i>	16
Gambar 6 <i>Strike Fault</i>	17
Gambar 7 Tanah dalam keadaan normal, <i>Likuifaksi</i> dan <i>Setelah Likuifaksi</i>	26
Gambar 8 Grafik Korelasi <i>Measured Fines Content</i> dengan <i>Soil Behaviour</i> Type Index	36
Gambar 9 Hubungan antara <i>Measured Fines Content (%)</i> , <i>Soil Behaviour</i> <i>Index (Ic)</i> dan <i>Klasifikasi Tanah USCS</i>	37
Gambar 10 Halaman Puskim <i>Desain Spektra Indonesia</i>	38
Gambar 11 <i>Percepatan Gempa Dasar SNI 1726 : 2019</i>	39
Gambar 12 Kurva Hubungan antara <i>N-SPT Clean Sand</i> dengan <i>Gempa</i> <i>Bumi Magnitudo 7.5 SR</i>	43
Gambar 13 <i>Lokasi Penelitian</i>	46
Gambar 14 <i>SNI 1726 : 2019 Wilayah Medan</i>	49
Gambar 15 Halaman Depan <i>Web Desain Spektra Indonesia Puskim PU</i>	50
Gambar 16 Halaman Hasil Nilai <i>Percepatan Gempa Dasar Puskim PU</i>	50
Gambar 17 <i>Metode Youd-Idriss 2001 dan Idriss-Bowlanger 2008</i>	52
Gambar 18 <i>Bagan Alir Penelitian</i>	54
Gambar 19 <i>Factor of Safety</i> pada <i>BH.01 Berdasarkan SNI 1726:2019</i>	101
Gambar 20 <i>Factor of Safety</i> pada <i>BH.01 Berdasarkan PUSKIM PU</i>	102

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

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Bore Log 1 Pada Proyek Pengembangan Infrastruktur Jalan Di Bandara Kualanamu Berdasarkan SNI 1726 : 2019	112
Lampiran 2 Data Bore Log 4 Pada Proyek Pengembangan Infrastruktur Jalan Di Bandara Kualanamu Berdasarkan SNI 1726 : 2019	113



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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

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

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

bandara kualanamu, mengubah perairan menjadi daratan untuk menggantikan bandara yang lama di area yang mengandung banyak airnya. Berdasarkan latar belakang tersebut saya tertarik untuk menganalisis potensi likuifaksi yang ada pada proyek pengembangan infrastruktur jalan di bandara kualanamu medan.

1.2 Rumusan Masalah

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

1.3 Maksud dan Tujuan Penulisan

Adapun maksud dari penulisan skripsi ini yaitu untuk menganalisis potensi likuifaksi pada Proyek Pengembangan Infrastruktur Jalan Di Bandara Kualanamu Medan menggunakan data bore log. Sedangkan tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pada magnitudo gempa berapa terjadi likuifaksi pada Proyek Pengembangan Infrastruktur Jalan Di Bandara Kualanamu Medan.
2. Untuk mengetahui perbandingan nilai *safety factor* potensi likuifaksi pada setiap lapisan tanah

1.4 Manfaat Penelitian

Melalui studi penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Hasil yang telah diteliti diharapkan dapat menambah wawasan pembaca tentang potensi *Likuifaksi* yang terjadi di Indonesia

2. Sebagai bahan rujukan atau referensi untuk mengetahui potensi likuifaksi apabila terjadi gempa bumi yang ada di Kota Medan bagi instansi atau perusahaan
3. Sebagai bahan referensi dan menambah informasi untuk praktisi maupun akademisi yang membutuhkan

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah dijelaskan di atas, adanya batasan masalah supaya menghindari pelebaran pembahasan maupun masalah pada penelitian ini. Adapun dalam penelitian ini pembahasan akan dibatasi pada :

1. Titik *boring* yang diteliti adalah *bore hole* dengan nomor BH.01 dan BH.04.
2. Peneliti tidak menganalisis penurunan tanah (*settlement*)
3. Nilai percepatan gempa dasar (a_{max}) yang digunakan didasarkan pada SNI 1726 : 2019 dan *website* Desain Spektra Indonesia Puskim PU.
4. Magnitudo gempa yang akan digunakan dalam analisis ini adalah 6.5 SR, 7.5 SR, dan 8.0 SR.
5. Metode perhitungan analisis potensi likuifaksi menggunakan gabungan antara metode Youd-Idriss (2001) dan metode Idriss Boulanger (2008).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan salah satu upaya penulis dalam mencari perbandingan serta kajian sehingga penulis dapat menambah wawasan, inspirasi, dan filosofi yang digunakan untuk mengkaji penelitian yang akan penulis lakukan. Dalam hal ini, penulis mengambil beberapa sumber jurnal, tugas akhir maupun referensi lainnya terkait dengan analisis potensi likufaksi yang terjadi di Indonesia. Berikut merupakan beberapa penelitian yang pernah melakukan analisis tentang likuifaksi, antara lain :

- a) Jurnal ilmiah Mario Hutagalung dan Simon Dertha Tarigan dengan judul : Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa (Studi Kasus : Reklamasi Pelabuhan Kontainer Belawan Fase-2, 2019). 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.
- b) Penelitian yang dilakukan oleh Evson Simamora dengan judul : Analisis Potensi Likuifaksi Menggunakan Data SPT (Pada Proyek Pembangunan Gedung Bungasari Flour Mills-Medan, 2021). Pada penelitian ini menggunakan metode Youd-Idriss. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, pada Proyek Pembangunan Bungasari Flour Mills Medan terdapat potensi terjadinya likuifaksi pada BH-2 dengan kedalaman 0 – 6 m, BH-3 dengan

kedalaman 2 – 6 m, BH 4 dan BH-5 dengan kedalaman 0 – 4 m, BH-6 dengan kedalaman 0 – 6 m, dan BH-7 pada kedalaman 2 – 4 m.

- c) Penelitian yang dilakukan oleh Carolina Ardhylla Sasanti dengan judul : Studi Potensi Soil Liquefaction Di Rencana Lokasi Genting Oil Kasuri Papua Barat, 2015. 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 magnitudo 6, 6.5, 7, dan 7.5 SR lalu penulis tersebut mempekirakan kedalaman settlement pada gempa dengan $M_w 6 = 35.91$ cm, $M_w 6.5 = 39.15$ cm, $M_w 7 = 41.95$ dan $M_w 7.5 = 44.39$ cm.
- d) Jurnal ilmiah Murniwansyah, Halida Yunita dan Reza P. Munirwan berjudul: Kajian Potensial Likuifaksi Akibat Gempa Berdasarkan Data SPT-N Di Wilayah Provinsi Aceh, 2017. 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 magnitudo gempa 6, 8, dan 9 SR
- e) Jurnal ilmiah Himatul Farichah dengan judul : Analisis Potensi Likuifaksi dengan Metode Deterministik di Wilayah Surabaya dalam judul tersebut menggunakan metode Deterministik selanjutnya dengan metode Youd dan

Idriss 2001 dan metode Idriss 2008. Analisis tersebut dibandingkan dengan analisis awal kemudian dibandingkan analisis lanjutan untuk disimpulkan potensi likuifaksinya. Berdasarkan analisis awalnya terjadi likuifaksi pada kedalaman 1-7 m masih ada potensi likuifaksi sedangkan pada kedalaman lebih dari 22 m sedangkan pada analisis lanjutan diketahui hampir semua kedalaman memiliki potensi likuifaksi hingga kedalaman 17 m

- f) Jurnal ilmiah Soebowo, Etc berjudul : Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Berdasarkan Data CPT dan N-SPT di daerah Patalan Bantul, Yogyakarta dijelaskan menggunakan metode perhitungan Seed dan Idriss (1971) dan metode Robertson dan Wride (1989). Analisis tersebut mengindikasikan bahwa ketebalan lapisan tanah yang berpotensi terlikuifaksi bervariasi antara 0,2 m dan 5,2 m sedangkan penurunan total lapisan tanah terutama terkonsentrasi di wilayah bagian tengah yang terletak di jalur Patahan Opak dengan besaran antara 0,21 cm hingga 12,98 cm.
- g) Jurnal lingkungan dan bencana geologi Rima Putri Febriana, Etc dengan judul : Analisis Potensi Likuifaksi di Daerah Cekungan Bandung berdasarkan Data *Standard Penetration Test* (SPT) menggunakan berbagai macam metode yaitu Boore drr (1997) untuk mengetahui percepatan tanah, metode Zhao drr (2006) mengetahui nilai PGA gempa bumi yang bersumber dari zona subduksi, untuk mengevaluasi potensi likuifaksi menggunakan metode gabungan Seed dan Idriss (1971) untuk menghitung CSR (*Cyclic Resistance Ratio*) dan CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) selanjutnya dari hasil perhitungan tersebut diketahui faktor keamanan (FK) terhadap likuifaksi dengan menggunakan metode Boulanger dan Idriss (2014). Setelah di

evaluasi potensi likuifaksi tersebut peneliti juga menghitung penurunan tanah menggunakan metode Ishihara dan Yoshimine (1992). Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan pada titik bor yang tersebar di beberapa lokasi daerah Cekungan Bandung lapisan tanah didominasi oleh lempung lunak dengan sisipan pasir sangat lepas hingga padat pada beberapa kedalaman.

2.2 Tanah

Menurut (Das, 1995), tanah didefinisikan sebagai suatu zat atau material yang terdiri atas butiran-butiran (agregat) padat ataupun halus yang tidak terikat secara kimiawi satu sama lain dan terbuat dari bahan-bahan organik yang telah lapuk (berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi kekosongan diantara partikel-partikel padat tersebut.

Menurut Bowles (1989) dalam (Purba, 2020), tanah merupakan campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau semua jenis berikut:

- a) Kerikil (*gravel*), merupakan partikel batuan dengan ukuran 5 - 150 mm.
- b) Berangkal (*boulders*), merupakan potongan batu yang berukuran besar, ukurannya biasanya >250 mm hingga 300 mm. Untuk *boulders* dengan ukuran antara 150 mm – 250 mm disebut dengan kerakal (*cobbles*).
- c) Pasir (*sand*), merupakan partikel batuan dengan ukuran 0.075 mm hingga 5mm, untuk partikel kasar ukurannya berkisar 3 mm – 5 mm sedangkan partikel halus ukurannya kurang dari 1 mm.
- d) Lanau (*silt*), merupakan partikel batuan dengan ukuran 0.002 mm hingga 0.075 mm. Biasanya tanah lanau tersedimentasi di dalam danau atau didekat pinggir pantai pada muara sungai.

e) Lempung (*clay*), merupakan partikel mineral dengan ukuran <0.002 mm. Partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada jenis tanah yang kohesif.

f) Koloid (*colloids*), merupakan partikel yang berukuran <0.001 mm.

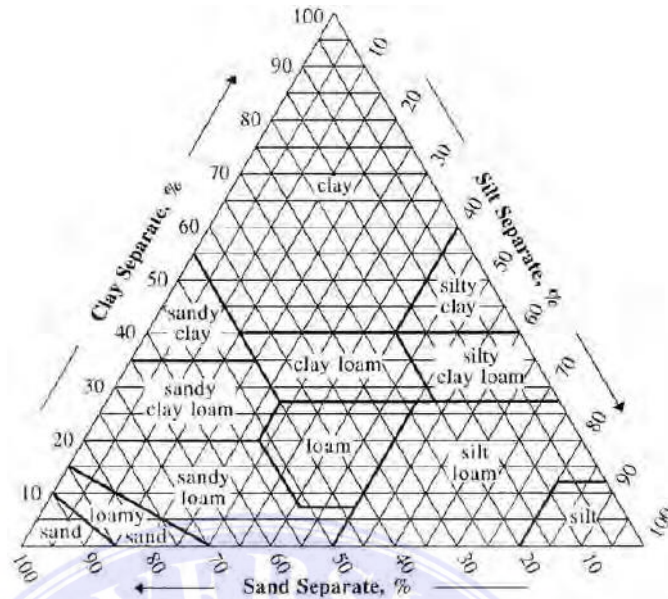
Selain klasifikasi tanah yang dijabarkan menurut Bowles (1989) diatas, terdapat beberapa cara lain yang digunakan dalam mengklasifikasikan jenis-jenis tanah, yaitu sebagai berikut :

2.2.1 USDA *Texture Triangle*

USDA (*U.S. Department of Agriculture*) merupakan sebuah badan atau departemen yang bertanggung jawab atas hal-hal yang melibatkan program pertanian, pangan, kehutanan, keamanan pangan, pengelolaan sumber daya alam, program nutrisi dan pertumbuhan ekonomi dengan tujuan untuk menjamin keselamatan makanan, melindungi sumber daya lingkungan kehidupan serta mengakhiri kelaparan di Amerika Serikat.

USDA mengklasifikasikan jenis tanah menggunakan *triangle graphic* atau grafik segitiga tekstur tanah dimana grafik segitiga tersebut menyebutkan berbagai kombinasi tanah liat, pasir, dan lumpur. Grafik segitiga tekstur tanah pada Gambar 2.1 merupakan representasi visual dari kombinasi jenis-jenis tanah.

Seperti yang tertera pada Gambar 1 dibawah ini, tanah partikel diberi nama sesuai dengan diameternya. Diameter dari partikel-partikel ini secara drastis mengubah sifat dari tanah tersebut. Untuk pasir (*sand*) sendiri, terbuat dari partikel-partikel terbesar dengan ada banyak ruang diantaranya. Hal ini menandakan bahwa jenis tanah pasir tersebut memiliki aerasi yang baik dan dapat mengalirkan air dengan cepat.



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

Untuk partikel tanah liat (*clay*) jauh lebih kecil dibandingkan partikel pasir, mereka dapat menyatu dengan sangat rapat. Sedangkan untuk jenis tanah lumpur (*silt*) yang memiliki ukuran diantara pasir dan tanah liat hanya dapat mempertahankan air dengan cukup baik dan tidak terlalu terlihat seperti tanah liat. Selain itu, jenis tanah lumpur tidak memiliki banyak udara dan ruang di antara partikel seperti halnya jenis tanah pasir (*sand*).

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



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

Tanah berpasir (*sand*) memiliki presentase tanah dengan 18% lempung dan lebih dari 68% partikel pasir. Tanah berpasir merupakan jenis tanah yang paling ringan dari semua tanah, rentan terhadap angin dan mengalirkan air dengan cepat serta dibedakan oleh tekstur berpasir yang disebabkan oleh potongan-potongan batu yang hampir tidak terlihat ukurannya. Tanah berpasir lebih cepat panas pada musim semi dibandingkan dengan tanah liat namun juga memiliki kecenderungan cepat mengering di musim panas dan memiliki nutrisi yang rendah saat terkena hujan.

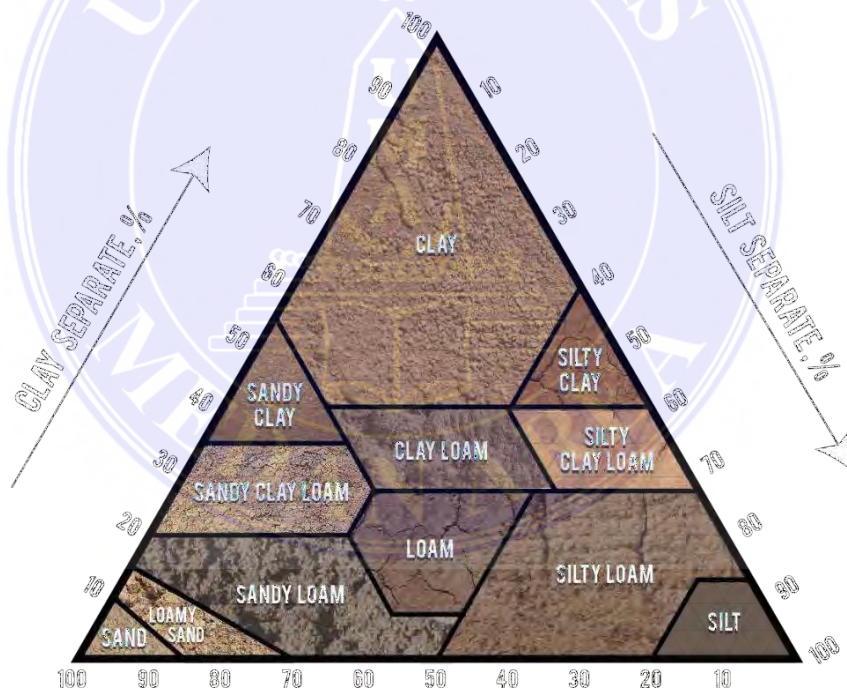
Pasir halus (*fine sand*) memiliki ukuran partikel 0.075 mm hingga 0.425 mm, pasir sedang (*medium sand*) memiliki ukuran 0.425 mm hingga 2 mm, dan pasir kasar (*coarse sand*) berukuran 2 mm hingga 4.75 mm. Tanah berpasir mudah diidentifikasi yaitu dengan menggenggam tanah kering kemudian teteskan sedikit air ke tanah tersebut secara perlahan. Tanah tersebut kemudian diperas hingga terasa seperti dempul yang lembab, jika terasa berpasir dan potongannya jatuh diantara jari jari tangan, maka tanah tersebut merupakan tanah berpasir.

Tanah lanau (*silt*) merupakan zat sedimen lepas yang terdiri dari partikel batuan kecil yang terbentuk secara alami. Tanah lanau merupakan tanah yang secara umum menahan kelembapan dan memiliki nilai kesuburan yang tinggi serta biasanya digunakan dalam bidang pertanian seperti untuk keperluan budidaya tanaman. Karena kehalusannya, tanah lanau memiliki sedikit ataupun tidak ada plastisitas. Saat basah, tanah lanau akan dengan mudah membentuk bola atau bentuk lainnya.

Tanah liat (*clay*) terdiri dari partikel yang sangat kecil atau kurang dari 0.002 mm dan mengandung 50% tanah liat. Saat basah, tanah liat menjadi lebih berat dan lengket, sedangkan saat mengering, tanah liat akan mengeras dan menjadi

seperti beton. Karena ukurannya mikroskopis, partikelnya memiliki kecenderungan untuk menggumpal dan hanya sedikit udara yang dapat melewati celah-celah partikelnya.

Tanah lempung (*loam*) terdiri dari 40% pasir (*sand*), 40% lumpur (*silt*) dan 20% tanah liat (*clay*). Jenis tanah ini merupakan jenis tanah yang biasanya digunakan untuk berkebun atau menanam sayuran dikarenakan mengandung banyak nutrisi. Keempat jenis-jenis tanah diatas tidak hanya dikelompokkan menjadi 4 bagian, namun keempat jenis tersebut dapat bercampur satu sama lain sehingga teksturnya berbeda dan tidak mudah dibedakan seperti pada Gambar 3 di bawah ini.



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

Pada Gambar 3 diatas, terlihat perbedaan warna, tekstur hingga ukuran jika keempat jenis tanah tersebut tercampur. Untuk jenis tanah lempung (*loam*) sendiri dapat berwarna abu-abu, coklat, merah hingga kuning.

2.2.2 USCS (*Unified Soil Classification System*)

Merupakan sistem klasifikasi tanah yang dianjurkan oleh A. Cassagrande pada tahun 1942 dan kemudian direvisi oleh *The Corps of Engineers* dan *The US Bureau of Reclamation* pada tahun 1952. Pada klasifikasi ini, tanah dibagi menjadi 2 (dua) jenis, yaitu tanah berbutir kasar merupakan kerikil (*gravel*) dan pasir (*sand*) Pada Tabel 1, inisial huruf menunjukkan jenis tanahnya

Tabel 1. Simbol Klasifikasi USCS (California Department of Transportation, *USCS Classification System*, 2016)

Huruf Pertama (Jenis)		Huruf Kedua (Sifat)	
Huruf	Arti	Huruf	Arti
G	Kerikil	W	Gradiasi Baik
S	Pasir	P	Gradiasi Jerek
M	Lanau	M	Mengandung Lanau
C	Lempung	C	Mengandung Lempung
O	Tanah Organik	L	Plastisitas Rendah
Pt	Gambut	H	Plastisitas Tinggi

Sistem klasifikasi USCS ini paling banyak digunakan untuk tujuan rekayasa tanah dikarenakan tanah tersebut dikategorikan berdasarkan pembentukan karakter dan ukuran partikelnya. Klasifikasi USCS dibagi menjadi 15 grup yang berbeda, namun mayoritas divisi utamanya mencakup tiga kategori tanah, yaitu :

Tabel 2. Tanah Berbutir Kasar (*Coarse Grained Soils*) (California Department of Transportation, USCS *Classification System*, 2016)

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

Pada Tabel 2 disebutkan bahwa parameter identifikasi jenis tanah kerikil dan pasir adalah saringan No.4. Saringan No.4 merupakan saringan yang digunakan pada pengujian *sieve analysis* dengan ukuran diameter 0.075 mm. Sedangkan pada Tabel 3 digunakan saringan No. 200 sebagai parameter penentu jenis tanah lanau dan lempung.

Tabel 3. Tanah Berbutir Halus (*Fine Grained Soils*) (California Department of Transportation, USCS *Classification System* 2016)

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

Untuk jenis tanah terakhir yaitu *highly organic soils* tidak dibagi lagi melainkan diklasifikasikan dalam satu kelompok. Tanah organik biasanya mudah ditekan, teksturnya berlumpur dan lembab. Umumnya, komponen dalam *highly organic soils* ini terdiri dari sisa daun-daun yang telah berguguran, ranting maupun bahan-bahan lainnya.

Berdasarkan jenis-jenis tanah di atas, jenis tanah yang memiliki potensi likuifaksi adalah jenis tanah dengan ukuran 0.075 mm yaitu tanah lanau (*silt*) dengan sifat kohesif atau lengket dan tanah pasir (*sand*) dengan sifat non-kohesif atau tidak lengket. Kedua tanah tersebut meskipun berbeda jenis namun memiliki persamaan yaitu merupakan jenis tanah yang tidak padat.

Pada umumnya, tanah terdiri dari 3 komponen utama, yaitu air, udara dan bahan padat. Air sangat mempengaruhi sifat-sifat tanah karena jika rongga pada tanah tersebut terisi oleh air sepenuhnya, maka tanah akan dikatakan dalam kondisi

jenuh. Sedangkan tanah dengan kondisi jenuh sangat berbahaya bagi bangunan di atasnya karena hal tersebut merupakan salah satu parameter penyebab likuifaksi.

Salah satu penyebab tanah menjadi jenuh adalah intensitas curah hujan yang tinggi dan terjadinya gertaran secara terus menerus yang cepat. Komponen air akan masuk kedalam bagian tanah yang tidak padat sehingga menyebabkan tanah menjadi mengembang. Selain itu, proses pemadatan tanah yang tidak dilakukan dengan benar saat pekerjaan konstruksi berlangsung juga dapat menyebabkan tanah menjadi rentan dimasuki oleh air. Pada fase ini, perencana harus dapat mengidentifikasi jenis tanah dengan tepat sehingga nantinya akan diketahui seberapa banyak tanah yang harus ditimbun.

2.3 Gempa Bumi

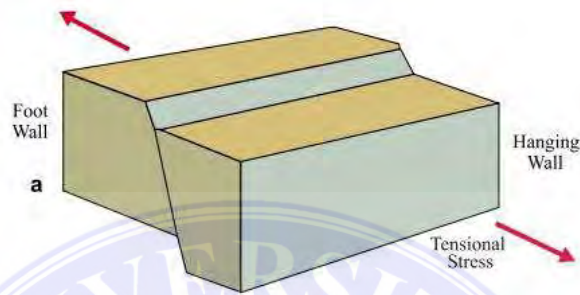
Gempa bumi merupakan suatu peristiwa dimana dua blok pada bumi saling tumpang tindih melewati satu sama lain. Titik lokasi dimana gempa bumi dimulai di bawah permukaan bumi disebut titik hiposenter. Sedangkan titik lokasi dimana gempa terjadi di atas permukaan bumi disebut episenter.

2.3.1 Jenis-Jenis Sesar (Patahan)

Permukaan dimana kedua blok tersebut saling tumpang tindih disebut sesar atau bidang sesar. *Footwall* merupakan bagian patahan yang lebih memanjang sedangkan *hanging wall* merupakan bagian yang bagian bawahnya lebih pendek daripada *footwall*. Terdapat 3 (tiga) jenis patahan atau sesar, yaitu:

1. Patahan Normal (*Normal Fault*)

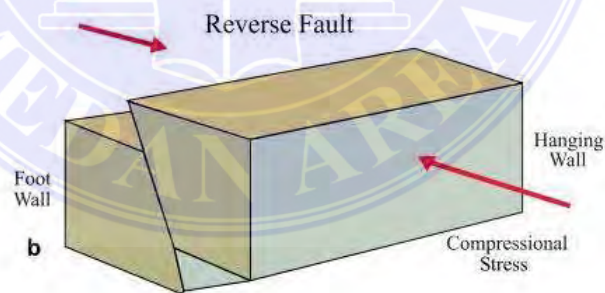
Merupakan jenis patahan pada Gambar 2.4 yang arah gerak bloknnya (*footwall*) relatif naik terhadap blok lainnya (*hanging wall*). Sudut kemiringan untuk patahan ini biasanya mencapai 90 derajat.



Gambar 4. *Normal Fault* (D.M Ragan,1973)

2. *Reverse Fault*

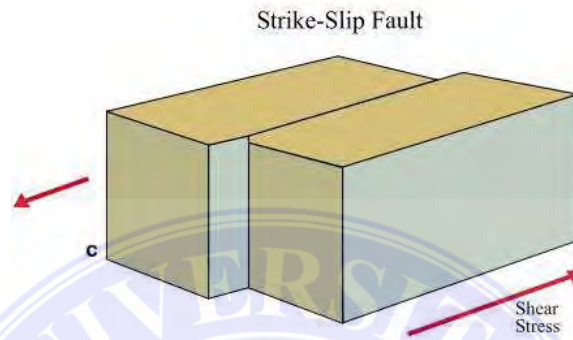
Merupakan jenis patahan pada Gambar 2.5 dengan arah gerak *hanging wall* relatif naik daripada *footwall*. Sudut kemiringan *reverse fault* adalah kurang dari 45 derajat.



Gambar 5 *Reverse Fault* (D.M Ragan,1973)

3. *Strike Fault*

Merupakan jenis patahan pada Gambar 2.6 dengan arah gerak yang relatif mendatar ke arah kiri atau kanan. Penyebab patahan ini adalah karena adanya gaya yang mengenai sebuah batuan dari arah samping.



Gambar 6. *Strike Fault* (D.M Ragan,1973)

2.3.2 Jenis-Jenis Gempa Bumi

1. Gempa Vulkanik

Merupakan jenis gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas magma atau pelepasan energi yang terjadi pada gunung berapi. Gempa bumi ini dapat terjadi sebelum, selama maupun setelah erupsi dari gunung berapi ataupun ketika terdapat aktivitas pada inti bumi. Dampak yang dapat ditimbulkan akibat dari gempa bumi vulkanik yaitu adanya kabut asap dan semburan abu vulkanik yang dapat menghalangi sinar matahari gelap hinggamenimbulkan masalah pada pernapasan.

2. Gempa Tektonik

Merupakan jenis gempa bumi yang disebabkan oleh pergeseran dua atau lebih lempeng tektonik secara tiba-tiba. Pergeseran pada lempeng tektonik tersebut dinamakan sesargan jenis yang berbeda-beda sesuai dengan arah geraknya. Biasanya jika terjadi gempa tektonik maka akan terjadi gempa

susulan lainnya tergantung dari kedalaman gempanya.

Pembagian gempa tektonik berdasarkan kedalaman gempa dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Jenis Gempa Tektonik Berdasarkan Kedalaman Gempa (Malik, Y., Bahan Ajar Gempa Bumi UPI, 2013)

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

Dampak yang ditimbulkan dari gempa bumi tektonik ini salah satunya ialah tsunami. Selain itu, gempa tektonik juga dapat menyebabkan likuifaksi dan menyebabkan bangunan yang berada di atasnya runtuh seketika.

3. Runtuhan

Merupakan jenis gempa bumi yang disebabkan oleh longsornya tanah atau runtuhnya gua-gua yang ada di sekitar area terdampak. Dampak dari gempa bumi ini biasanya tidak sebesar efek gempa bumi tektonik dan hanya mempengaruhi area-area kecil di sekitarnya.

2.3.3 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*)

Merupakan satuan yang diciptakan oleh seorang ahli vulkanologis yang berasal dari Italia yang bernama Giuseppe Mercalli pada tahun 1902. Dalam metode pembagian skala MMI ini dibagi menjadi 12 jenis yang diambil

berdasarkan informasi dari orang-orang yang selamat dari gempa bumi dan kemudian hasilnya dibandingkan untuk mengetahui tingkat kerusakan yang diperoleh akibat dari adanya gempa bumi tersebut. Karena hasilnya dihitung berdasarkan tempat, maka hasilnya tidak sama di setiap tempat. Pembagian pengaruh resiko gempa terhadap skala MMI dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Skala Intensitas Gempa Bumi BMKG (Kementrian ESDM, Skala MMI: *Modified Mercally 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
IV	Kerusakan Sedang	Banyak retakan muncul di dinding bangunan sederhana, sebagian runtuh dan kaca pecah. 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

Penggunaan skala MMI jarang digunakan dibandingkan dengan skala ritcher dikarenakan skala MMI hanya digunakan jika tidak terdapat

peralatan seismometer yang dapat mengukur kekuatan gempa di area kejadian.

b) Skala Rithcer

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 ritcher dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. *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 sendiri dibuat untuk memudahkan penentuan megnitudo gempa tanpa melakukan perhitungan matematis yang rumit. Skala richter biasanya digunakan untuk gempa yang berkekuatan kecil atau lokasinya kurang dari 600 km, sehingga penggunaan skala richter ini tidak terlalu akurat untuk perhitungan gempa bumi dengan skala yang besar.

Magnitude gempa dapat menunjukkan kondisi yang sebenarnya dari besaran gempa yang terjadi. Namun, *magnitude* gempa tidak dapat menunjukkan derajat kerusakan yang disebabkan oleh gempa dikarenakan jika lokasi terjadinya gempa tersebut di tengah samudera, tentunya akan berdampak berbeda jika gempa tersebut terjadi di tengah kota dengan *magnitude* yang sama. Bangunan konstruksi yang berada dekat maupun jauh dari *epicentre* gempa, keduanya sama-sama dapat mempengaruhi struktur bangunan tergantung dari intensitas besar kecilnya getaran.

2.3.4 Riwayat Gempa Bumi di Sumatera Utara

Sumatera Utara dilewati oleh tiga segmen patahan dan ketiga segmen tersebut merupakan sumber dan jalur perambatan gempa bumi yang berbasis di darat. Segmen patahan tersebut adalah sesar renun, sesar toru, dan sesar ancora sepanjang 475 km. Selain itu, terdapat sesar semangko, yaitu merupakan jenis sesar yang memotong Pulau Sumatera dari ujung barat Aceh hingga Provinsi Lampung. Sesar ini dikenal dengan sesar Sumatera dengan panjang hingga 1.900 kilometer.

Berdasarkan data riwayat gempa pada Tabel 7 di bawah, gempa terbesar yang pernah terjadi di Sumatera Utara terjadi pada tahun 2005 dengan skala 8,6 SR dan baru-baru ini juga terjadi gempa di Kabupaten Nias dengan kekuatan gempa 5,1 SR.

Tabel 7. Data Gempa Bumi di Sumatera Utara dalam 50 Tahun Terakhir
(*EarthScope*, 2018)

Tanggal	Pusat Gempa Bumi		Magnitudo	Lokasi Kejadian Likuifaksi
	Bujur	Lintang		
04 Dec 1967	97,3° BT	5,3° LU	6,2	Lhokseumawe, Aceh
27 Apr 1987	98,8° BT	2,1° LU	6,6	Tarutung, Sumatera Utara
15 Nov 1990	97,457° BT	3,908° LU	6,8	Blangkajeren, Aceh
15 Feb 1994	104,302° BT	4,967° LS	7,0	Liwa, Lamoung
10 Jul 1995	101,3° BT	2,1° LS	7,0	Kec. Sitinjau Laut
06 Apr 2000	102,407° BT	4,734° LS	7,9	Kota Bengkulu
28 Mar 2005	97,01° BT	2,07° LU	8,7	Gunung Sitoli, Sumatera Utara
03 Jul 2007	100,498° BT	0,536° LS	6,3	Solok, Sumatera Barat
09 Dec 2007	101,382° BT	4,517° LS	8,4	Bengkulu, Seblat
13 Sep 2007	100,964° BT	2,525° LS	7,9	Pesisir Selatan, Sumatera Barat
30 Sep 2009	99,961° BT	0,789° LS	7,9	Padang Pariaman, Sumatera Barat
12 Jul 2016	96,24° BT	5,25° LU	6,5	Pidie Jaya, Aceh

2.4 Likuifaksi

Menurut Marcuson (1978) dalam (Kusumawardani, n.d.), likuifaksi merupakan proses berubahnya sifat-sifat tanah, dari yang bersifat *solid* menjadi *liquid*. Dalam hal ini, *liquid* ini tidak diartikan sebagai air, namun cenderung seperti air. Likuifaksi terjadi pada tanah dengan kondisi jenuh. Biasanya likuifaksi merupakan jenis bencana susulan akibat dari bencana utama, yaitu gempa. *Magnitude* gempa yang besar dan terjadi secara terus-menerus dapat berdampak serius bagi wilayah di sekitarnya atau bahkan hingga ratusan kilometer jauhnya.

Likuifaksi ditandai dengan adanya lumpur pasir di permukaan tanah berupa semburan pasir atau *sand boil*, rembesan air melalui retakan pada tanah, dan juga bisa dalam bentuk tenggelamnya struktur bangunan di atas permukaan tanah. Karena tanah tersebut berubah menjadi seperti cairan, maka akan beresiko jika terdapat bangunan yang memiliki tipe tanah pasir, karena jenis tanah pasir sendiri biasanya memiliki rongga yang mudah untuk terkena tarikan.

2.4.1 Syarat Terjadinya Likuifaksi

Secara umum, identifikasi awal untuk mengetahui apakah terdapat potensi likuifaksi di suatu wilayah dapat diketahui dari syarat-syarat berikut :

- a) Lapisan tanah berupa pasir atau lanau
- b) Lapisan tanah jenuh air
- c) Muka air tanah (*ground water level*) dangkal <10 m
- d) Terjadi gempa bermagnitudo minimal 5.0 SR.
- e) *Peak ground acceleration* lebih dari 0.1 g

Selain syarat-syarat di atas, terdapat beberapa faktor-faktor yang dapat meningkatkan potensi terjadinya likuifaksi seperti gradasi ukuran partikel, kondisi-kondisi drainase, bentuk partikel, lamanya waktu konsolidasi, sejarah tanah hingga beban bangunan.

2.4.2 Jenis-Jenis Likuifaksi

Umumnya likuifaksi dapat diartikan sebagai transformasi dari sifat tanah yang semula berbutir kasar dan dalam keadaan padat menjadi cair akibat dari peningkatan tekanan hidrostatis karena adanya beban siklik (gempa) dan non siklik yang tinggi secara terus menerus dan tiba-tiba. Likuifaksi terbagi menjadi 2 (dua) macam kategori, yaitu likuifaksi akibat beban siklik dan non siklik.

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

Cyclic liquefaction merupakan jenis likuifaksi yang disebabkan oleh beban siklik yang terjadi pada tanah. Beban siklik merupakan beban yang terjadi karena gempa. Tegangan geser pada tanah tersebut menjadi lebih kecil daripada daya dukung tanah yang mengakibatkan tanah kehilangan kekuatannya untuk menopang beban yang terdapat di atasnya. Dalam hal

ini, beban siklik atau *cyclic load* merupakan siklus pembebanan yang terjadi secara berulang dan intensitasnya teratur seperti gempa bumi. Besar deformasi yang disebabkan selama pembebanan siklik terjadi tergantung pada kepadatan tanah, besar kecilnya *magnitude* gempa, dan jumlah pembalikan tegangan geser pada struktur bawah.

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

Flow liquefaction merupakan jenis likuifaksi yang terjadi apabila tegangan geser statik lebih besar dari pada tegangan geser tanah yang terlikuifaksi. Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan dan tarikan. Pada kondisi ini tanah akan sepenuhnya kehilangan kuat gesernya sehingga akan menyebabkan bangunan di atasnya menjadi runtuh. *Flow liquefaction* biasanya ditandai dengan adanya pergerakan tanah secara cepat dan dengan skala yang cukup besar.

Tabel 8. Perbedaan *Cyclic Liquefaction* dan *Flow Liquefaction* (Fernando, N., Analisis Potensi *Cyclic Mobility* pada Tanah Kohesif, 2019)

	Tipe Likuifaksi	
	<i>Cyclic Liquefaction</i>	<i>Flow Liquefaction</i>
Reaksi Tegangan Tanah	<i>Strain softening dan hardening</i>	<i>Strain softening</i>
Kondisi Tegangan Tanah	Tegangan efektif tidak mencapai nol	Tegangan efektif mencapai nol
Karakteristik Tanah	Tanah jenuh dengan kepadatan yang longgar atau padat	Tanah jenuh dengan kepadatan yang longgar
Potensi Kegagalan	Deformasi tanah akan melebar dan meluas selama gempa bumi berlangsung	Tanah akan menjadi lunak dan mengalir seperti cairan tergantung pada kontur wilayah tersebut

Berdasarkan Tabel 8 di atas, perbedaan antara *cyclic liquefaction* dan *flow liquefaction* hanya dibedakan dari dampaknya. Untuk *flow liquefaction*, sifat tanah yang semula padat akan menjadi cair sedangkan *cyclicliquefaction* tidak menjadi cair, hanya lunak.

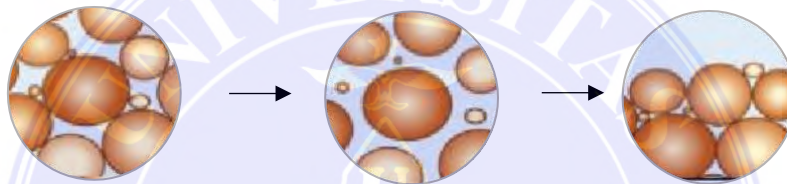
2.4.3 Metode Evaluasi Potensi Likuifaksi

Dalam menganalisis potensi likuifaksi, perlu dilakukan beberapa tahapan evaluasi awal mengenai syarat-syarat terjadinya likuifaksi. Tahapan evaluasi bahaya likuifaksi tersebut yaitu :

- a) Mengevaluasi jenis tanah pada lokasi penelitian tersebut, apakah jenis tanah tersebut merupakan jenis tanah yang termasuk kedalam jenis tanah yang rentan terhadap likuifaksi, yaitu jenis tanah *sand* atau *silts*.
- b) Jika syarat pertama terpenuhi, maka dapat dilakukan evaluasi kedua yaitu mengenai penyebab likuifaksi pada lokasi tersebut. Likuifaksi biasanya disebabkan oleh gempa dengan magnitude > 5.0 SR. Jika pada riwayat histori gempa pernah terjadi gempa dengan magnitudo > 5.0 SR, maka dapat dilakukan analisis potensi likuifaksi menggunakan riwayat magnitudo gempa yang pernah terjadi tersebut.
- c) Jika kedua syarat diatas terpenuhi, maka perlu dilakukan evaluasi selanjutnya yaitu mengenai kerugian yang akan didapat ketika likuifaksi tersebut terjadi. Jika likuifaksi terjadi pada area dengan gedung-gedung tinggi atau terjadi di tengah kota maka akan lebih berbahaya karena dapat menimbulkan korban jiwa yang tidak terduga hingga jalan raya.

2.4.4 Proses Terjadinya Likuifaksi

Dalam memahami proses terjadinya likuifaksi, perlu dipahami bahwa suatu endapan tanah terdiri dari partikel-partikel. Jika diperhatikan dengan seksama, partikel-partikel tersebut terletak saling berdekatan dan menopang satu sama lain. Dengan adanya kontak antar partikel tersebut, tanah menjadi memiliki kekuatan untuk memikul beban di atasnya. Kondisi ini akan menguntungkan tanah karena beban yang berada di atas tanah akan dipikul secara bersamaan oleh seluruh partikel.



Gambar 7. Tanah Dalam Keadaan Normal, Likuifaksi dan Setelah Likuifaksi (S., A. (Ega) M., Mengenal Tentang Likuifaksi: Perspektif Geologi, 2020)

Pada Gambar 7 terlihat bahwa terdapat banyak rongga di antara partikel tanah yang telah dipenuhi oleh air. Pada kondisi normal, air pada tanah memiliki tekanan air pori yang relatif rendah. Saat menerima tekanan dari getaran secara tiba-tiba, partikel air tersebut akan terdesak keluar hingga ia akan menaikkan tekanannya. Namun pada saat terjadi gempa, karena getaran gempa yang berlangsung secara berulang-ulang dan terjadi secara cepat, air tersebut kemudian tidak memiliki cukup waktu untuk keluar dari tanah melalui rongga-rongga tanah, sehingga kemudian air tersebut mendorong partikel tanah hingga menjadi menjauh. Pada akhirnya partikel-partikel tanah tidak dapat mendistribusikan beban dengan baik.

2.4.5 Dampak Terjadinya Likuifaksi

Menurut (Idriss, 1982), terdapat 8 (delapan) dampak atau bahaya umum yang terjadi akibat terjadinya bencana likuifaksi. Dampak-dampak tersebut antara lain :

1. *Sand Boils*

Sand boils dapat diartikan juga dengan semburan pasir. *Sand boils* merupakan fenomena dimana bagian bawah tanah mendapatkan tekanan hingga menembus lapisan berpasir. Air tanah tersebut kemudian keluar dan akan terlihat seperti mendidih yang berbentuk kerucut dan bercampur dengan pasir.

2. *Flow Failures*

Biasanya terjadi pada talud dengan kemiringan lereng yang curam. Aliran pasir kemudian akan bergerak dari posisi talud dengan elevasi tinggi ke elevasi yang lebih rendah. *Flow failures* dapat terjadi pada talud dengan kemiringan lebih dari 3° dan biasanya juga dapat disebut juga dengan *landslide* atau longsor.

3. *Lateral Spreads*

Merupakan gerakan tanah yang terjadi akibat dari respon tanah terhadap kombinasi gravitasi dan inersia yang ditimbulkan akibat gempa. *Lateral spreads* biasanya terjadi pada lereng yang landai dengan kemiringan antara 0.3 hingga 3° . Pada kondisi ini, tanah bergerak menuju permukaan bebas seperti aliran sungai. Pergerakan dari permukaan tanah tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada struktur bangunan bagian bawah.

4. *Ground Oscillation*

Merupakan peristiwa dimana likuifaksi terjadi pada deposit tanah yang berada di bawah suatu area yang mengalami pergerakan. Biasanya berupa suatu massa tanah yang berupa blok utuh di bawah permukaan tanah. Jika tanah di bawahnya mengalami likuifaksi sedangkan lapisan tanah di atasnya tidak, maka akan terjadi pergerakan bolak-balik dan naik turun pada lapisan tanah di atasnya sebagai akibat dari lapisan bawahnya yang telah mencair. Kondisi ini akan menyebabkan munculnya retakan-retakan besar dan akan terjadi tabrakan antar *section* satu dengan yang lainnya.

5. *Loss of Bearing Capacity*

Ketika tanah mengalami likuifaksi, tanah tersebut akan kehilangan kekuatannya dalam menahan suatu beban struktur yang ada di atasnya sehingga sistem struktur bangunan tersebut akan terbangun tidak dengan struktur pondasi yang kuat. Pada kondisi ini bangunan yang berada dalam tanah seperti basement hingga jaringan pipa bawah tanah pun dapat terangkat keluar hingga muncul ke permukaan atau biasa disebut juga dengan istilah *buoyant rise of buried structure*.

2.4.6 **Histori Kasus Likufaksi di Indonesia**

Sejarah mencatat bahwa likuifaksi di Indonesia pernah terjadi di Flores (1992), Maumere (1992), Yogyakarta (2006) dan Palu (2018). Namun dikarenakan keterbatasan informasi yang beredar di internet, hanya terdapat beberapa detail informasi lengkap mengenai kronologi kejadian likuifaksi yang terjadi di Indonesia.

1. Likuifaksi di Jogjakarta Tahun 2006

Wilayah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan sekitarnya terletak pada jalur subduksi lempeng, yaitu Lempeng Indo-Australia yang menyusup di bawah Lempeng Eurasia. Dengan demikian, wilayah DIY termasuk kedalam wilayah yang rawan gempa bumi. Gempa bumi dengan skala 6.2 SR terjadi di Jogjakarta pada hari Sabtu, tanggal 27 Mei 2006. Gempa bumi tersebut kemudian menimbulkan bencana geologi seperti longsor, rekahan tanah dan likuifaksi pada area kurang lebih yang berarah timur laut – barat daya yang sejajar dengan patahan Opak.

2. Likuifaksi di Palu Tahun 2018

Wilayah Palu merupakan wilayah kota yang berada di ujung teluk dekat pesisir yang menyempit ke daratan. Berdasarkan penelitian sebelumnya, wilayah Palu memiliki tanah dengan kontur yang mudah terjadi likuifaksi dikarenakan ketebalan sedimennya mencapai 170 meter dan menjadikan wilayah tersebut tidak aman untuk dijadikan tempat tinggal. Gempa bumi dengan *magnitude* 7.4 SR mengguncang Kota Palu dan Donggala pada tanggal 28 September 2018. Pusat gempa berada di kedalaman 10 km dengan jarak 27 km sebelah timur laut Donggala. Dengan *magnitude* tersebut, getaran yang ada akan sangat besar sehingga menyebabkan tsunami dan likuifaksi di wilayah tersebut. Untuk bencana likufaksinya sendiri terjadi di daerah Sigi, Petabo, dan kawasan Palu Selatan.

3. Likuifaksi Aceh Pidie Jaya Tahun 2016

Pada tanggal 07 Desember 2016, Provinsi Aceh tepatnya di kawasan Kabupaten Pidie Jaya diguncang gempa dengan *magnitude* 6.5 SR yang

berpusat di daratan. Gempa tersebut mengakibatkan jatuhnya korban jiwa sedikitnya 104 orang meninggal dunia. Selain itu, gempa tersebut juga menyebabkan adanya bencana susulan yaitu likuifaksi. Likuifaksi terjadi di arah utara hingga selatan, yaitu ditandai dengan munculnya retakan pada jalan serta munculnya pasir halus berwarna abu-abu kehijauan diantara celah-celah retakan tersebut. Retakan tersebut menyebabkan hancurnya bangunan-bangunan yang ada di sekitarnya. Likuifaksi tersebut juga menunjukkan adanya gunung pasir (*sand boil*).

Di Pulau Sumatera sendiri pernah beberapa kali terjadi likuifaksi dengan rata-rata gempa diatas 5.0 SR. Berikut data Tabel histori likuifaksi yang terjadi di Pulau Sumatera.

Tabel 9. Histori Kejadian Likuifaksi di Pulau Sumatera (Badan Geologi ESDM, Atlas Zona Likuefaksi Indonesia, 2019)

Tanggal	Pusat Gempa Bumi		Magnitudo	Lokasi Kejadian Likuifaksi
	Bujur	Lintang		
04 Dec 1967	97,3° BT	5,3° LU	6,2	Lhokseumawe, Aceh
27 Apr 1987	98,8° BT	2,1° LU	6,6	Tarutung, Sumatera Utara
15 Nov 1990	97,457° BT	3,908° LU	6,8	Blangkajeren, Aceh
15 Feb 1994	104,302° BT	4,967° LS	7,0	Liwa, Lamoung
10 Jul 1995	101,3° BT	2,1° LS	7,0	Kec. Sitinjau Laut
06 Apr 2000	102,407° BT	4,734° LS	7,9	Kota Bengkulu
28 Mar 2005	97,01° BT	2,07° LU	8,7	Gunung Sitoli, Sumatera Utara
03 Jul 2007	100,498° BT	0,536° LS	6,3	Solok, Sumatera Barat
09 Dec 2007	101,382° BT	4,517° LS	8,4	Bengkulu, Seblat
13 Sep 2007	100,964° BT	2,525° LS	7,9	Pesisir Selatan, Sumatera Barat
30 Sep 2009	99,961° BT	0,789° LS	7,9	Padang Pariaman, Sumatera Barat
12 Jul 2016	96,24° BT	5,25° LU	6,5	Pidie Jaya, Aceh

Berdasarkan Tabel 9 di atas, dapat dilihat bahwa Sumatera Utara memiliki 2 kali histori kejadian likuifaksi pada tahun 1987 dan 2005. Lokasi yang pernah mengalami likuifaksi, kedepannya berkemungkinan akan mengalami likuifaksi

kembali. Maka dari itu, diperlukan penanganan seperti injeksi semen yang bertujuan untuk memperkuat kepadatan pasir lepas menjadi pasir padat.

2.5 Parameter Identifikasi Potensi Likuifaksi

2.5.1 Tegangan Tanah

Tegangan pada lapisan tanah yang diakibatkan oleh adanya beban dari tanah yang terdapat di atasnya tanpa memperhitungkan tegangan air pori yang diakibatkan oleh air (μ) disebut tegangan vertikal total. Tegangan vertikal total dapat dihitung dengan persamaan 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/m²)

z = Kedalaman tanah yang ditinjau (m)

Jika tanah dibebani (dan karena air) disebut *incompressible*, maka beban pertama yang diterima air dan timbul adalah tekanan air pori. Tekanan air pori dapat dihitung dengan rumus berikut :

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

Dimana :

μ = Tekanan air pori tanah (kN/m²)

γ_w = Berat volume air = 9.81 (kN/m²)

z = Kedalaman tanah yang ditinjau (m)

Air yang bertekanan kemudian akan mengalir keluar sehingga tekanan air pori akan berkurang. Setelah tekanan air pori hilang, maka seluruh beban akan

dipikul oleh bidang kontak antar butiran tanah yang disebut tegangan vertikal efektif. Tegangan vertikal efektif tanah dapat dihitung dengan persamaan 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 di atas dapat digunakan jika terdapat data hasil pengujian *sieve analysis*, namun jika tidak terdapat data hasil pengujian *sieve anaylis*, maka perhitungan nilai tegangan tanah dapat menggunakan nilai korelasi pada Tabel 10 di bawah ini.

Tabel 10. 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		15.7 - 18.8	0
2 - 3	Soft			12
4 - 7	Medium		17.3 - 20.4	25
8 - 15	Stiff			50
16 - 31	Very Stiff		18.8 - 22.0	100
32	Hard			200

Pada Tabel diatas, untuk mendapatkan nilai berat isi tanah (γ) dapat digunakan rumus interpolasi sesuai dengan jenis tanah pasir (*sand*) maupun

lempung (*clay*) dan nilai N-SPT yang didapatkan dari hasil pengujian *soil investigation* SPT sebagai berikut :

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

Dimana :

- γ = Berat isi tanah (kN/m³)
- y = Selisih nilai N-SPT \longrightarrow Batas atas – batas bawah
- x = Selisih nilai N-SPT \longrightarrow Nilai N-SPT pengujian - batas bawah
- z = Selisih nilai γ \longrightarrow γ_{atas} – γ_{bawah}
- γ_1 = Batas bawah nilai γ

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

Nilai N-SPT merupakan nilai yang diperoleh berdasarkan pengujian *boring log* atau biasa disebut *Standart Penetration Test*. *Standart Penetration Test* merupakan metode uji tanah *in-situ* dan dilaksanakan bersamaan dengan proses pengeboran untuk mengetahui sifat perlawanan tanah serta pengambilan sampel tanah *undistrubed* dengan teknik penumbukan.

Menurut Youd dan Idriss (2001) dan Cetin dll (2004) dalam (Lonteng et al., 2013), koreksi-koreksi yang diperlukan untuk mendapatkan nilai (N1)60 yaitu :

$$(N1)_{60} = N_m \text{ CN CE CB CR CS} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

- (N1)₆₀ = Nilai SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh efisiensi tenaga 60%
- N_m = Nilai N-SPT yang diperoleh dari pengujian lapangan
- CN = Faktor normalisasi N_m 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

Dimana setelah didapatkan nilai Nm yang telah dikoreksi 60% efisiensi energi, maka akan dihitung pula nilai koreksi tegangan *overburden* dikarenakan adanya peningkatan nilai N-SPT. Faktor normalisasi koreksi dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_N = \frac{2,2}{(1,2 + \frac{\sigma'_v}{p_a})} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

σ'_v = Tegangan vertikal efektif tanah (kN/m²)

p_a = Tegangan atmosfir 100 kPa (1 atm)

Dimana nilai CN tidak boleh melebihi 1.8, sedangkan untuk nilai faktor koreksi lain dapat dilihat berdasarkan Tabel berikut :

Tabel 11. Faktor Koreksi Uji SPT (Skempton) (BSN, Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT SNI 4153:2008, 2008)

Faktor	Jenis Alat	Parameter	Koreksi
Tegangan Vertikal	-	C _N	2,2 / (1,2 + (σ'v/pa))
Tegangan Vertikal	-	C _N	C _N < 1,7
Rasio Tenaga	Palu Donat (<i>Donut Hammer</i>)	C _E	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	C _B	1,0
Diameter Bor	150 mm	C _B	1,05
Diameter Bor	200 mm	C _B	1,15
Panjang Batang	< 3 m	C _R	0,75
Panjang Batang	3 s/d 4 m	C _R	0,8
Panjang Batang	4 s/d 6 m	C _R	0,85
Panjang Batang	6 s/d 10 m	C _R	0,95
Panjang Batang	10 s/d 30 m	C _R	1,0
Pengambilan Contoh	Tabung Standar	C _S	1,0
Pengambilan Contoh	Tabung Dengan Pelapis (liner)	C _S	1,1 - 1,3

Berdasarkan Tabel 2.11 di atas, harus diketahui terlebih dahulu spesifikasi dari alat bor untuk mengetahui nilai CE, CB, CR, dan CS. Dalam menentukan nilai $(N_1)_{60cs}$, perlu diketahui juga nilai *finer content* (FC) yang merupakan nilai % lolos saringan No. 200. Faktor koreksi $(N_1)_{60cs}$ penyetaraan nilai dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta \cdot (N_1)_{60} \dots\dots\dots (7)$$

$$(N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60} \dots\dots\dots (8)$$

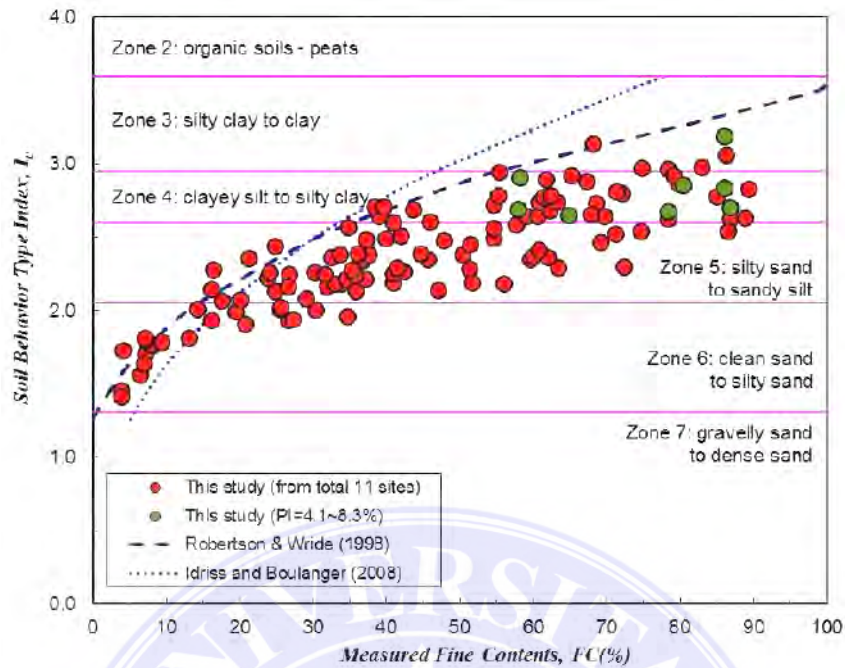
$$\Delta(N_1)_{60} = \text{EXP} \left(1.63 + \frac{9.7}{FC+0.01} - \left(\frac{15.7}{FC+0.01} \right)^2 \right) \dots\dots\dots (9)$$

Persamaan (7) dipakai ketika tanah tersebut merupakan jenis tanah dimana lempungnya dominan, sedangkan persamaan (8) dan (9) dipakai ketika jenis tanah tersebut merupakan jenis tanah pasir atau lanaunya dominan.

Dimana nilai koefisien α dan β dipengaruhi oleh presentase *finer content* (FC). Koefisien tersebut didapatkan dari persamaan sebagai berikut :

- $\alpha = 0$, dan $\beta = 1,0$ apabila $FC \leq 5\%$
- $\alpha = \exp \left[1,76 - \left(\frac{190}{FC^2} \right) \right]$ apabila $5\% < FC < 35\%$
- $\beta = \left[0,99 - \left(\frac{FC^{1,5}}{1000} \right) \right]$ apabila $5\% < FC < 35\%$
- $\alpha = 5,0$ apabila $FC \geq 35\%$
- $\beta = 1,2$ apabila $FC \geq 35\%$

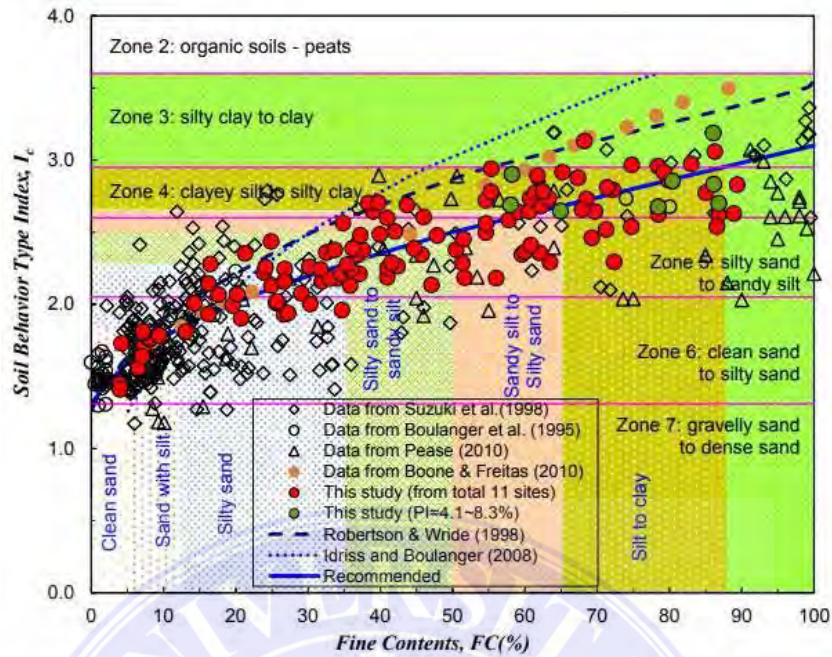
Nilai *finer content* dapat diketahui dari pengujian *sieve analysis* dengan melihat nilai % lolos saringan No. 200. Namun jika tidak ada data pengujian tersebut dapat digunakan nilai korelasi *measured finer content* (FC %) yang dikemukakan oleh (Robertson, 1990) dalam (Yi, 2014) pada Gambar 8 di bawah



Gambar 8. Grafik Korelasi Measured Fines Content dengan Soil BehaviourType Index (Yi, F., *Estimating Soil Fines Contents From CPT Data*, 2014)

Dalam menghasilkan nilai korelasi yang lebih representatif, data tersebut dikumpulkan dan dimanfaatkan sebanyak 133 sampel kandungan kemudian dibagi kembali menjadi 7 bagian atau zona berdasarkan jenis-jenis tanah yang ada pada area tersebut. Pada semua penelitian tersebut, secara geologis terdiri dari endapan aluvial berumur sangat muda dan tanah dengan plastisitas rendah yang mencakup jenis tanah *clean sand*.

Selain itu, peneliti (Yi, 2014) juga mengumpulkan data yang dikumpulkan dari total 11 lokasi proyek dan berbagai lokasi penelitian yang diterbitkan. Persamaan pada Gambar 9 menunjukkan hubungan antara *fines content*, zona *soil behaviour index* dan jenis tanah yang dibagi menjadi 7 bagian berdasarkan klasifikasi USCS.



Gambar 9. Hubungan antara *Measured Fines Content (%)*, *Soil Behaviour Index (Ic)* dan *Klasifikasi Tanah USCS (Yi, F., Estimating Soil Fines Contents From CPT Data, 2014)*

Berdasarkan Gambar grafik hubungan di atas, dapat dilakukan pembacaan

Tabel 12 sebagai berikut :

Tabel 12. Tabel Nilai Korelasi Hubungan antara *Soil Behaviour Type Index (Ic)*, *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

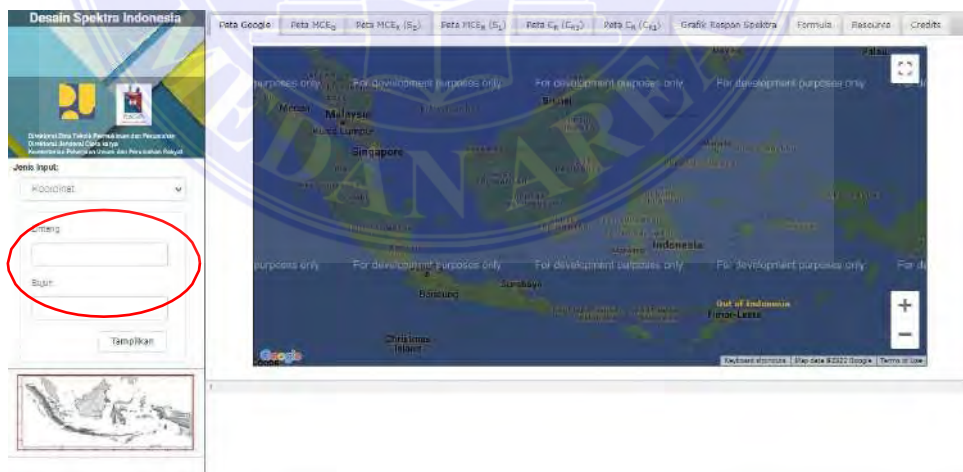
Tabel 12 di atas dapat digunakan dengan mengkorelasikan jenis tanah sesuai dengan klasifikasi USCS yang terdapat pada data hasil pengujian *boring log* dengan nilai *fines content* yang ada pada Tabel tanpa harus menghitung nilai I_c

terlebih dahulu dikarenakan patokan untuk nilai *finis content* yaitu hanya 5%, 15% dan 35%.

2.5.3 Percepatan Gempa Dasar (α_{max})

Percepatan gempa dasar atau *Peak Ground Accerleration* (PGA) atau bisa dilambangkan dengan α_{max} merupakan percepatan puncak muka tanah akibat dari getaran gempa bumi yang terjadi. Perhitungan PGA untuk wilayah Indonesia dapat menggunakan data literatur yang sudah ada sebelumnya seperti Peta Zona Gempa Indonesia (SNI 1726 : 2019), SNI 2012, perhitungan fungsi atenuase (tergantung pada kondisi alam suatu area), data puskim, dan *software* NERA.

Pada penelitian ini, penulis menggunakan data Aplikasi Spektrum Respons Desain Indonesia 2021 Puskim PU pada Gambar 10 yang dikembangkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) bersama dengan Institut Teknologi Bandung (ITB) dalam menentukan percepatan gempa (α_{max}) berdasarkan koordinat lokasi.

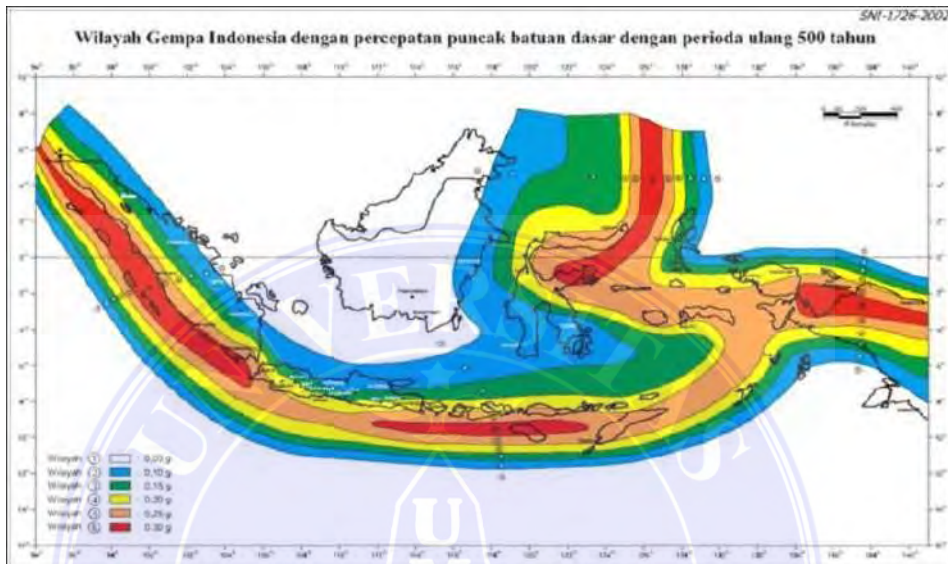


Gambar 10. Halaman Puskim Desain Spektra Indonesia (ciptakarya.pu.go.id, 2021)

Pada halaman depan puskim akan ditemui kolom pengisian koordinat lintang dan bujur. Untuk mendapatkan nilai PGA, kolom lintang dan bujur harus

diisi sesuai dengan koordinat lokasi tanah yang akan diteliti. Koordinat lokasi yang akan diteliti dapat dicari melalui *google maps*.

Selain itu, penulis juga menggunakan referensi nilai percepatan gempa dasar berdasarkan SNI 1726-2019.



Gambar 11. Percepatan Gempa Dasar SNI 1726 : 2019
(BSN, SNI 1726 : 2019 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa, 2019)

Berdasarkan Gambar 11 yaitu SNI 1726 : 2019, wilayah Kota Medan termasuk kedalam wilayah 3 dengan nilai percepatan gempa dasar yaitu 0.15 g.

2.5.4 Stress Reduction Factor (rd)

Secara umum, stress reduction ractor atau SRF (rd) menggambarkan hubungan antara tegangan dan kekuatan batuan di sekitar bawah permukaan tanah. Nilai SRF juga merupakan nilai yang dapat mengurangi tegangan di dalam tanah. Semakin jauh ke dalam tanah, maka nilai SRF akan semakin kecil. Nilai SRF berbeda pada setiap kedalaman sehingga harus dihitung pada tiap-tiap kedalaman.

Perhitungan *stress reduction factor* (r_d) menurut (*Seed and Idriss, 1971*) harus menunjukkan fungsi dari kedalaman dan juga *earthquake magnitude* (M_w) referensi. SFR dapat dihitung dengan persamaan 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) dapat digunakan untuk kedalaman tanah < 30 m, sedangkan untuk kedalaman > 30 m digunakan rumus berikut :

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

Dimana :

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

Pada Persamaan (10) dan Persamaan (13), untuk nilai magnitudo gempa pada perhitungan SRF, digunakan magnitudo gempa referensi berdasarkan NCEER, yaitu 7.5 SR. Nilai r_d akan mempengaruhi besaran nilai perhitungan CSR karena semakin kecil nilai r_d maka semakin kecil pula nilai CSR yang berarti semakin kecil pula potensi terjadinya likuifaksi.

2.5.5 Cyclic Stress Ratio (CSR)

CSR merupakan nilai perbandingan antara tegangan geser rata-rata yang disebabkan oleh adanya gempa dengan tegangan vertikal efektif di tiap-tiap lapisan tanah. Perhitungan nilai CSR pada lapisan tanah dipengaruhi oleh nilai percepatan gempa yang telah didapatkan sebelumnya. Nilai *cyclic stress ratio* dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$CSR = 0,65 \cdot \frac{\alpha_{Max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'v} \cdot rd \dots\dots\dots (14)$$

Dimana :

CSR = Tegangan siklik yang menyebabkan likuifaksi

α_{max} = Percepatan gempa dasar

g = Percepatan gravitasi bumi = 9.81

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

σ_v = Tegangan vertikal total tanah (kN/m²)

rd = Faktor reduksi terhadap tegangan

Untuk nilai α_{max} , digunakan 2 referensi berbeda, yaitu menggunakan referensi PuskimPU dan SNI 03-1726-2002.

2.5.6 Cyclic Resistance Ratio (CRR)

CRR merupakan salah satu parameter fundamental dalam menghitung potensi likuifaksi. CRR sendiri adalah besaran nilai ketahanan lapisan tanah terhadap tegangan CSR atau likuifaksi. Sebelum menghitung nilai CRR, perlu dihitung terlebih dahulu nilai faktor skala gempa dan nilai faktor koreksi *overburden*. *Magnitude Scaling Factors* (MSF) merupakan faktor skala gempa yang dikemukakan oleh Seed dan Idriss pada tahun 1982 dikarenakan keterbatasan materi untuk membedakan kondisi tanah yang terkena likuifaksi dan tidak pada perhitungan CRR untuk gempa dengan magnitudo selain 7.5 SR. Nilai MSF dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$MSF = 6,9 \cdot \exp\left(\frac{-M_w}{4}\right) - 0.058 \leq 1.8 \dots\dots\dots (15)$$

Dimana :

MSF = *Magnitude scaling factors*

M_w = Magnitudo gempa

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

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

$$f = 0.831 - \frac{(N_1)_{60cs}}{160} \dots\dots\dots (17)$$

Dimana :

K σ = Faktor koreksi *overburden*

σ_v = Tegangan vertikal total tanah (kN/m²)

p_a = Tegangan atmosfer 100 kPa (1 atm)

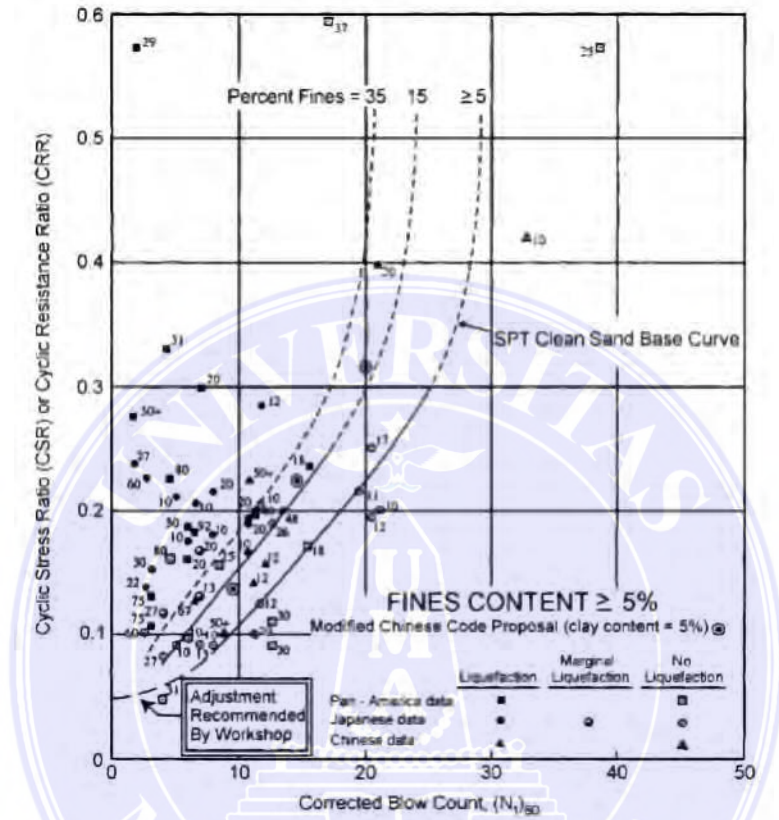
f = Faktor kerapatan relatif tanah

(N₁)_{60cs} = Nilai SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh *finer content*

Perhitungan CRR didasarkan pada metode NCEER/NSF yang mendeskripsikan ketahanan tanah terhadap likuifaksi pada tahun 1998 atau dengan kata lain mengenai analisa potensi likuifaksi. Berdasarkan metode tersebut, didapatkan metode evaluasi nilai CRR dengan menggunakan nilai hasil SPT yang telah diuji selama bertahun-tahun sehingga didapatkan kurva hubungan antara *cyclic resistance ratio* (CRR) dengan N-spt yang telah terkoreksi dan hanya berlaku pada perhitungan dengan magnitudo 7.5 SR.

NCEER atau *National Center for Earthquake Engineer Research* merupakan sebuah workshop yang berisi 31 orang eksperts dan *observer* yang pertama kali dilakukan pada tahun 1985 dengan tujuan untuk membuat sebuah

laporan mengenai pengetahuan tentang likuifaksi dan bahayanya. Hingga saat ini, laporan tersebut telah menjadi standar atau referensi dan digunakan secara umum dalam hal penelitian tentang bahaya likuifaksi



Gambar 12. Kurva Hubungan antara N-SPT *Clean Sand* dengan Gempa Bumi Magnitudo 7.5 SR (*Soil Liquefaction During Earthquakes 2nd Edition, 2008*)

Pada Gambar 12 terlihat bahwa kurva memisahkan data terkait area yang terdampak likuifaksi dengan lokasi yang tidak terdampak likuifaksi. Kurva tersebut dikembangkan untuk jenis tanah dengan FC 5% atau kurang, 15% dan 35%. Presentase kriteria tersebut merupakan dasar dalam perhitungan potensi likufaksi.

Berdasarkan metode tersebut, didapatkan metode evaluasi nilai CRR dengan menggunakan nilai hasil SPT yang telah diuji selama bertahun-tahun sehingga didapatkan kurva hubungan antara *cyclic resistance ratio* (CRR) dengan

N-SPT yang telah terkoreksi dan hanya berlaku pada perhitungan dengan magnitudo 7.5 SR.

Pada skala gempa yang lebih kecil atau lebih besar dari 7.5 SR, maka rumus CRR yang digunakan yaitu :

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

Sedangkan untuk skala gempa referensi yaitu 7.5 SR menggunakan persamaan berikut :

$$CRR_{7,5} = \exp \left\{ \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{14,1} \right] + \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{126} \right]^2 - \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{23,6} \right]^3 + \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{25,4} \right]^4 - 2,8 \right\} \quad (19)$$

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 Factor of Safety (FS)

Merupakan nilai untuk mengetahui faktor keamanan terhadap likuifaksi. Perhitungan faktor keamanan tanah terhadap likuifaksi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

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

Dimana :

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

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

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

Jika hasil akhir perhitungan faktor keamanan kurang dari 1, dan jika sama dengan 1 maka kondisi tanah tersebut kritis sedangkan jika lebih dari 1 maka tidak terdapat potensi likuifaksi pada area tersebut.

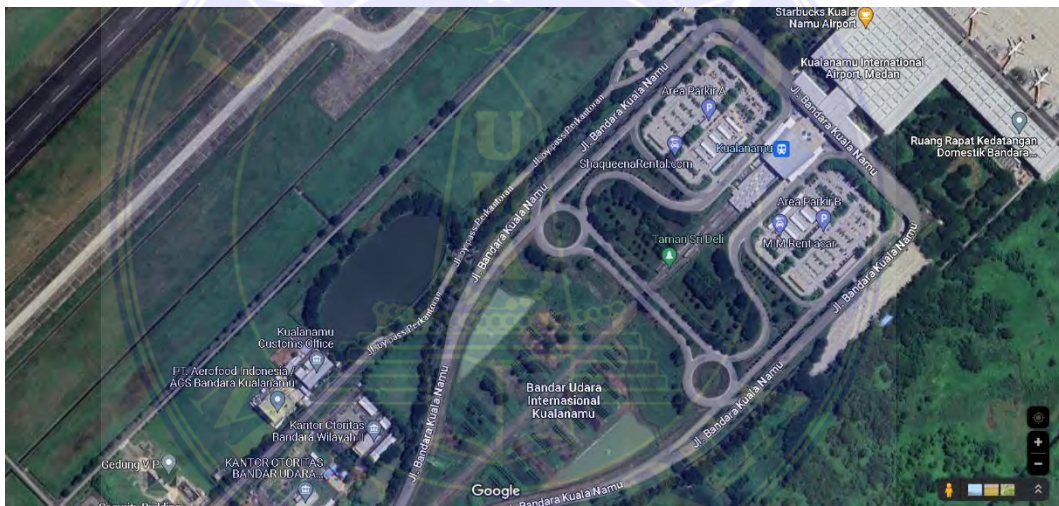


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang diteliti oleh penulis berada di Pengembangan Infrastruktur Jalan Di Bandara KualaNamu Medan yang berlokasi di Jl. Bandara Kualanamu Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara, Indonesia. Pada Gambar 13 yang merupakan lokasi proyek ini adalah lokasi strategis yang berada jauh di pemukiman warga dan merupakan program pemerintahan pusat Indonesia untuk perluasan pembangunan ekonomi Indonesia.



Gambar 13. Lokasi Penelitian (Google Maps, 2023)

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Adapun metode pengumpulan data yang berkaitan dalam penyusunan skripsi ini dibagi kedalam 2 (dua) jenis data, yaitu data primer dan data sekunder.

3.2.1 Data Primer

Merupakan jenis data yang dikumpulkan secara langsung dari lapangan, yaitu berupa informasi mengenai proyek tersebut yang berhubungan dengan penelitian ini. Data – data tersebut yaitu : data *bore log* dan *site plan*.

1. Data *Drilling Log*

Data ini merupakan data hasil pengujian *standart penetration test*, yang mana data tersebut disebut sebagai *drilling log*. Data *drilling log* dibagi menjadi 2 titik yaitu, BH.01, dan BH.04.

Tabel 13. *Drilling Log* BH.01 (Data Proyek, 2023)

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

Berdasarkan Tabel 13, dapat diketahui bahwa jenis tanah pada titik BH.01 rata-rata adalah jenis tanah *silt* dan *sand*, dimana jenis tanah tersebut memenuhi persyaratan dalam potensi terjadinya likuifaksi, sehingga dapat dilakukan penelitian lebih lanjut berdasarkan data tersebut.

Tabel 14. *Drilling Log* BH.04 (Data Proyek, 2023)

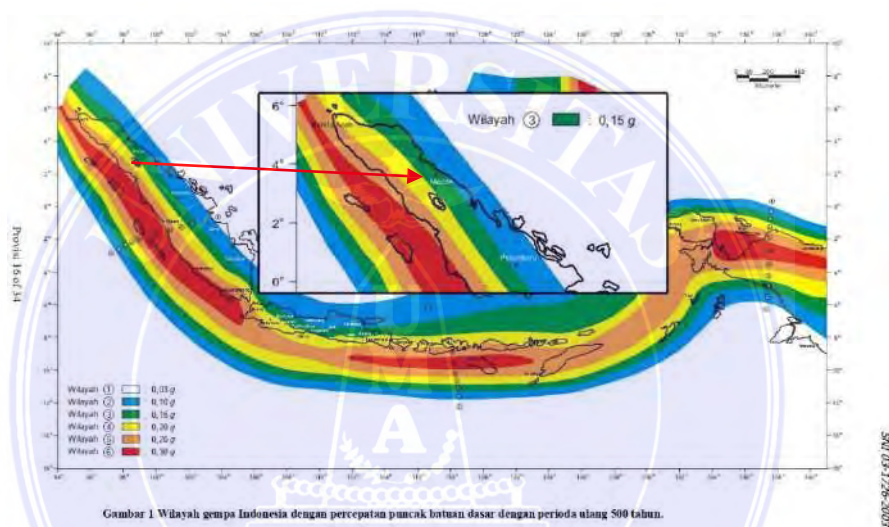
<i>Soil Investigation</i> Pengembangan Infrastruktur Jalan Di Bandara Kualanamu Medan			
Depth	z (m)	Description	N-SPT
1.50 – 1.95	1.95	Lempung berpasir	15
2.50 – 3.45	3.45	Pasir sedang	4
4.50 – 4.95	4.95	Pasir sedang	2
5.50 – 6.45	6.45	Pasir sedang	2
7.50 – 7.95	7.95	Pasir berlempung	4
8.50 – 9.45	9.45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

Berdasarkan Tabel 14, dapat diketahui bahwa jenis tanah pada titik BH.04 didominasi oleh jenis tanah *silt* dan *sands*. Namun, terdapat 2 (dua) lapisan dengan jenis tanah *clay* yang akan tetap dianalisis

3.2.2 Data Sekunder

Merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung yaitu berupa jurnal, *website* Puskim PU dan SNI 1726 : 2019 untuk data nilai percepatan gempa pada area penelitian, *website* iris.edu untuk data riwayat gempa pada Tabel 7, data *soil investigation* serta penelitian sebelumnya sebagai referensi penelitian ini. Tabel ataupun gambar yang berisi informasi data-data teknis tersebut yaitu :

1. Nilai Percepatan Gempa (PGA) SNI 1726 : 2019

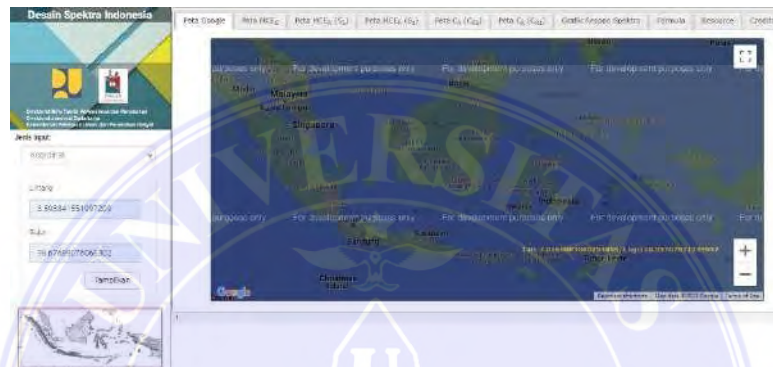


Gambar 14. SNI 1726 : 2019 Wilayah Medan (BSN, SNI 1726 : 2019 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa, 2019)

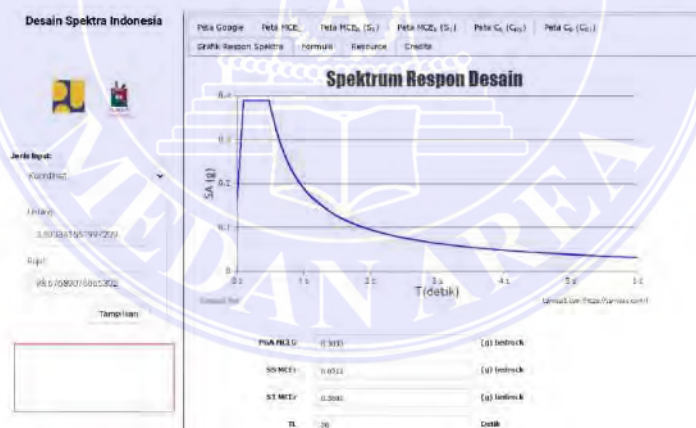
Berdasarkan Gambar 14 diketahui bahwa wilayah Kota Medan termasuk kedalam wilayah 3 dengan nilai percepatan gempa PGA yaitu 0.15 g. Angka tersebut sesuai dengan persyaratan terjadinya likuifaksi yaitu *peak ground acceleration* harus lebih dari 0,1 g.

2. Nilai Percepatan Gempa (PGA) Puskim PU

Aplikasi Desain Spektra Indonesia Puskim PU mengacu pada Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 yang disusun oleh Tim Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN), Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman, Balitbang, dan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.



Gambar 15. Halaman Depan *Web* Desain Spektra Indonesia Puskim PU (rsa.ciptakarya.pu.go.id)



Gambar 16. Halaman Hasil Nilai Percepatan Gempa Dasar Puskim PU (rsa.ciptakarya.pu.go.id)

Berdasarkan Gambar 15 dan Gambar 16, nilai PGA untuk area Proyek Pengembangan Infrastruktur Jalan Di Bandara Kualanamu Medan adalah 0.2823 g.

3.3 Evaluasi Potensi Likuifaksi Pada BH.01, dan BH.04

Berdasarkan pada syarat-syarat terjadinya likuifaksi yang telah disebutkan sebelumnya serta dengan data-data yang ada, maka evaluasi potensi likuifaksi dapat dilakukan yaitu seperti pada Tabel 15 berikut :

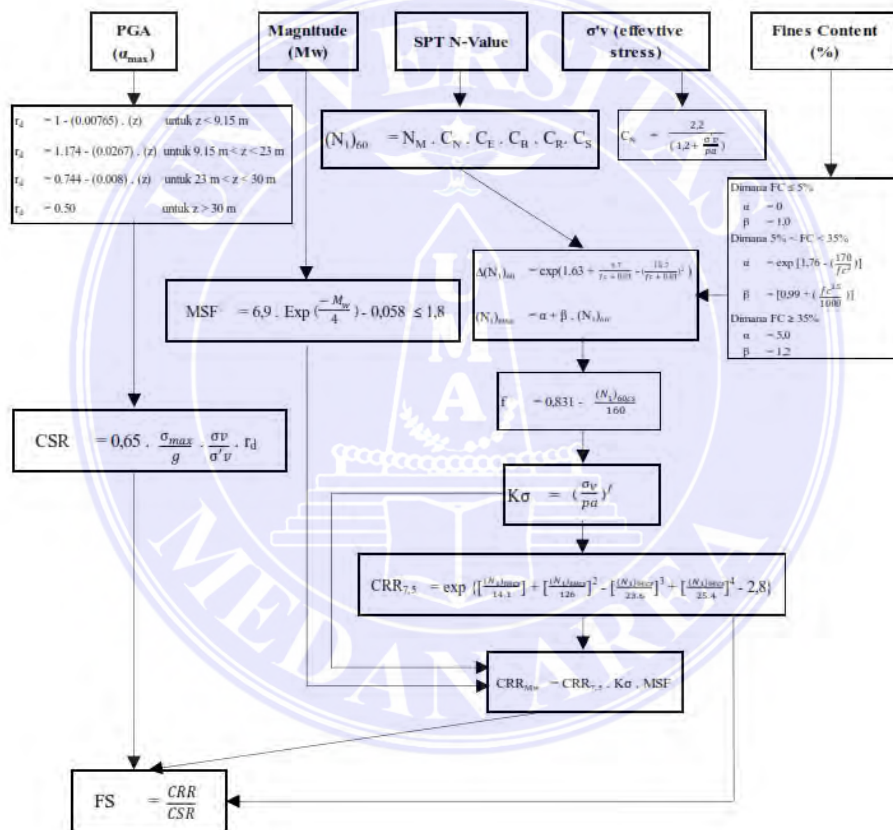
Tabel 15. Evaluasi Potensi Likuifaksi Pada BH.01, dan BH.04 (Hasil Evaluasi Potensi Likuifaksi, 2023)

Syarat terjadinya likuifaksi	Titik <i>Bore Hole</i>	
	BH.01	BH.04
Lapisan tanah berupa Pasir (<i>sand</i>) atau Lanau (<i>silt</i>)	✓	✓
Lapisan jenuh tanah air	✓	✓
Muka air tanah < 10m	✓	✓
Terjadi gempa dengan magnitudo > 5.0 SR	✓	✓
Nilai <i>Peak Ground Acceleration</i> > 0.1 g		
- Berdasarkan Desain Spektra Indonesia Puskim PU = 0.2823 g	✓	✓
- Berdasarkan SNI 1726 : 2019 = 0.15 g	✓	✓
Kode : ✓ Memenuhi Syarat		
x Tidak Memenuhi Syarat		

Berdasarkan Tabel 15 diatas, dapat dilihat bahwa pada titik *bore hole* BH.01, dan BH.04 telah memenuhi syarat untuk dilakukannya analisis potensi likuifaksi. Pada titik BH.01 dan BH.04, dominasi tanah pada laporan drilling log yang panulis dapatkan dari Proyek Pembangunan Pengembangan Infrastruktur Jalan Di Bandara KualaNamu Medan didominasi oleh jenis tanah pasir dan lanau. Untuk persyaratan nomor 2 yaitu tanah jenuh air merupakan jenis tanah kohesif, yaitu jenis tanah yang memiliki sifat lekatan di antara butiran-butriannya. Jenis tanah kohesif sendiri contohnya yaitu lanau (*silt*) dan lempung (*clay*). Disamping itu, untuk jenis tanah pasir (*sand*) sendiri, dikarenakan tanah tersebut tidak dapat menyerap air dengan baik, maka airakan langsung mengalir ke permukaan sehingga dapat menyebabkan genangan ataupun likuifaksi.

3.4 Alur Perhitungan

Dalam penelitian ini digunakan metode kuantitatif untuk mengevaluasi potensi bahaya likuifaksi dengan menggunakan konsep metode perhitungan Youd-Idriss 2001 dan metode Idriss Boulanger 2008. Metode pada Gambar 17 dilakukan dengan menghitung *safety factor* (FS) akibat gempa berdasarkan hasil perhitungan kekuatan tanah menahan likuifaksi akibat gempa (CRR) dan tegangan geser tanah akibat gempa (CSR).



Gambar 17. Metode Youd-Idriss 2001 dan Idriss-Bowlanger 2008 (Mase, L.Z., Studi Khandalan Metode Analisis Likuifaksi Menggunakan SPT, 2018)

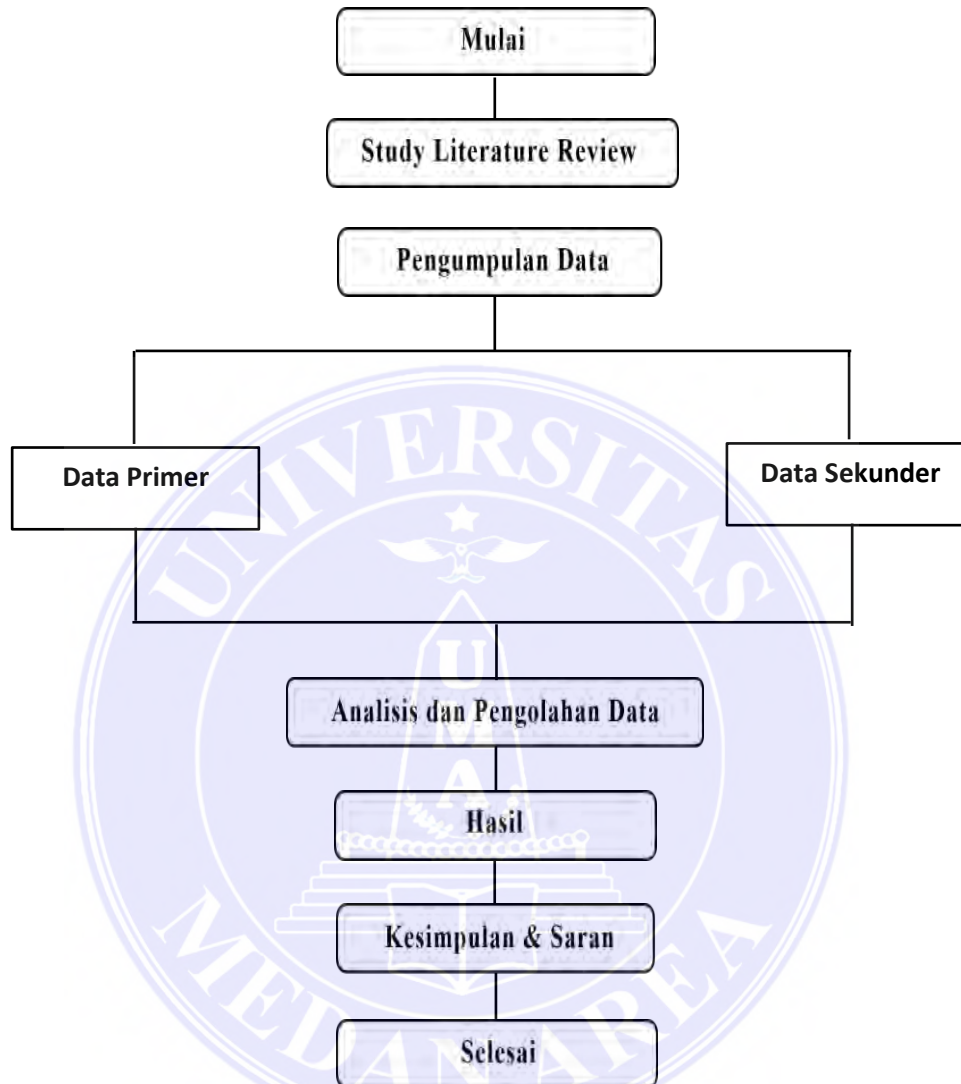
3.5 Tahapan Penelitian

Merupakan rancangan rencana peneltiaian awal dari pengumpulan data hingga data diperoleh dan diolah untuk mendapatkan hasil dan kesimpulan akhir.

Adapun tahapan persiapan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Melakukan *review* jurnal, buku maupun *thesis* yang terkait dengan analisa potensi likuifaksi.
2. Menentukan dan membuat daftar data yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian.
3. Melakukan pengumpulan data yang diperoleh dari perusahaan pelaksana Proyek Pembangunan Pengembangan Infrastruktur Jalan Di Bandara Kualanamu Medan yaitu PT. Kogas Driyap Konsultan (KOGAS).
4. Melakukan pengolahan dan analisis perhitungan menggunakan metode yang telah ditentukan sebelumnya terhadap data-data yang telah diperoleh.
5. Membuat kesimpulan dan saran sebagai tahap akhir dari penelitian.

3.6 Kerangka Berpikir



Gambar 18. Bagan Alir Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan pembahasan di atas, diperoleh bahwa semua lapisan tanah pada bore hole 1 dan bore hole 4 tidak mengalami likuifaksi menurut referensi SNI 1726:2019 dengan magnitudo 6.5 SR, 7.5 SR, dan 8.0 SR

Selain itu juga menurut referensi Puskim PU diperoleh bahwa semua lapisan tanah pada bore hole 1 dan bore hole 4 tidak mengalami likuifaksi dengan magnitudo 6.5 SR, 7.5 SR, dan 8.0 SR walaupun jenis tanahnya pasir (sand) dan lanau (silt) lebih dominan dan ada beberapa lapisan tanah yang memiliki karakteristik lempung (clay) tetap wajib dianalisis apakah adanya berpotensi terjadinya likuifaksi atau tidak

5.2 Saran

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

DAFTAR PUSTAKA

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

LAMPIRAN

