

**ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN
DATA *BORE LOG* PADA PROYEK REKLAMASI
BELAWAN PHASE 1**

SKRIPSI

OLEH:

**AHMAD TULUS KURNIAWAN
198110007**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023**

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

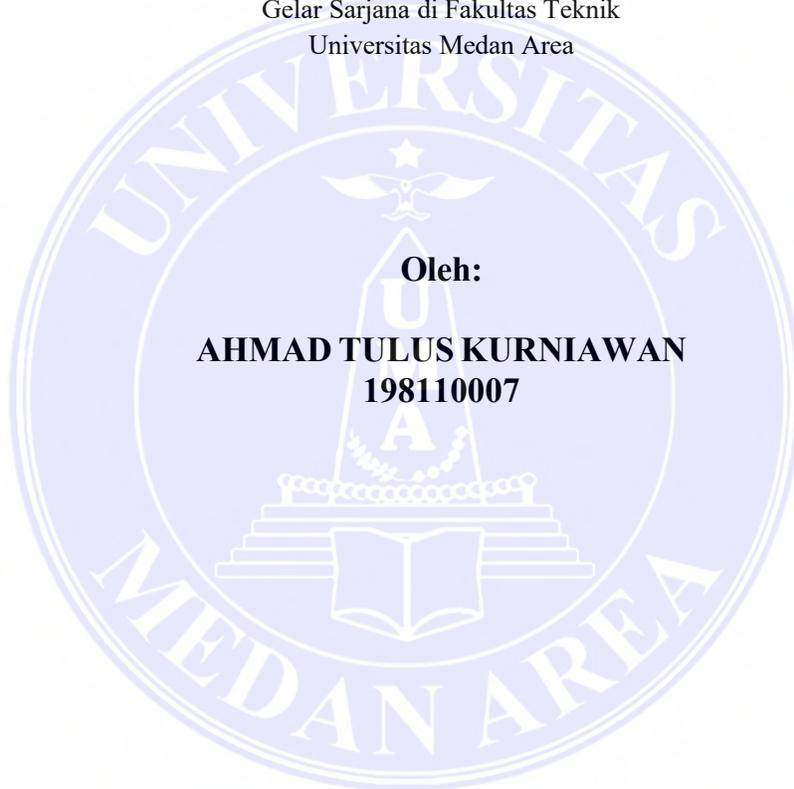
Document Accepted 14/12/23

Access From (repository.uma.ac.id)14/12/23

**ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN
DATA *BORE LOG* PADA PROYEK REKLAMASI
BELAWAN PHASE 1**

SKRIPSI

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



Oleh:

**AHMAD TULUS KURNIAWAN
198110007**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

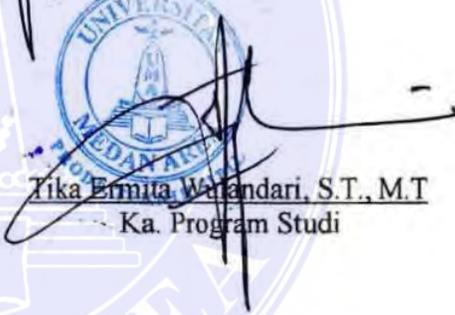
HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data *Bore Log*
Pada Proyek Reklamasi Belawan Phase-1
Nama : Ahmad Tulus Kurniawan
NPM : 198110007
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:
Komisi Pembimbing


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

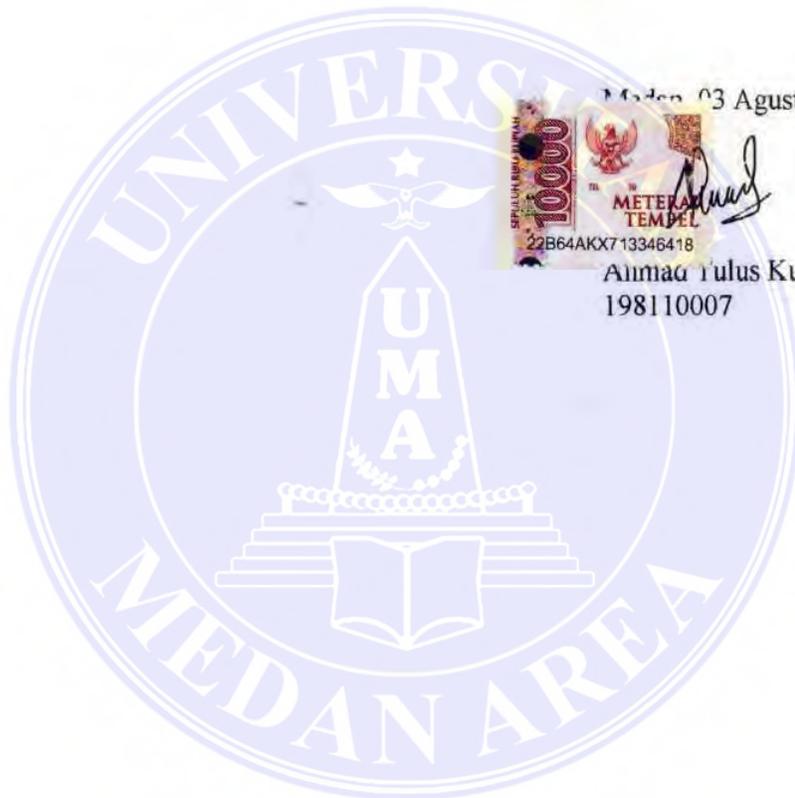

Dr. Rahmatullah S. Kom., M.Kom
Dekan


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

Tanggal Lulus : 11 Agustus 2023

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, 03 Agustus 2023



Ahmad Tulus Kurniawan
198110007

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

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

Nama : Ahmad Tulus Kurniawan
NPM : 198110007
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 Data *Bore Log* Pada Proyek Reklamasi Belawan Phase-1. 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 : 03 Agustus 2023
Yang menyatakan



(Ahmad Tulus Kurniawan)

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kota Binjai Pada tanggal 04 Juni 1997 dari Ayah H. Zisperdi, MPd. dan Ibu Marlina SPd. Penulis merupakan putra ke 3 dari 4 bersudara. Tahun 2015 Penulis lulus dari SMA N. 2 Kota Binjai dan pada tahun 2019 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Selama mengikuti perkuliahan penulis menjadi asisten mata kuliah Praktikum Mekanika Tanah pada tahun ajaran 2022/2023, pada tahun 2022 Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Proyek Pembangunan Rumah Sakit Columbia-Asia di Medan Tembung



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 Data *Bore Log* Pada Proyek Reklamas Belawan Phase-1. Terima kasih penulis sampaikan kepada Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing sekaligus Ka. Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada Pak Hermansyah, ST., MT., Pak Rudianto Surbakti, S.T., M.T., rekan seperjuangan saya (Kelvin, Yosepha, Nur dan Henny) 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, krtitik 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

(Ahmad Tulus Kurniawan)

ABSTRAK

Belawan merupakan salah satu wilayah di Sumatera Utara yang berbatasan langsung dengan Selat Malaka. Belawan dijadikan sebagai Pelabuhan, tempat kapal-kapal bersandar untuk kapal penumpang maupun kapal pengangkut logistik. Salah satu terminal di area Pelabuhan belawan membutuhkan perluasan lahan, sehingga adanya proyek reklamasi belawan untuk memperluas terminal peti kemas guna memaksimalkan potensi belawan serta membuat proses bongkar-muat barang logistik menjadi lebih maksimal. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi likuifaksi pada Proyek Reklamasi Belawan Phase-1 ketika terjadinya gempa pada magnitudo 6,0 SR, 6,5 SR, 7,0 SR, 7,5 SR, 8,0 SR pada *Bore Hole* 01 dan *Bore Hole* 02. Berdasarkan peta persebaran tanah, Belawan merupakan wilayah dengan jenis tanah lunak dan organik. Hal ini membuat Proyek Reklamasi Belawan harus diteliti untuk terjadinya potensi likuifaksi. Metode penelitian yang digunakan ialah menggunakan data primer dari data *bore log* proyek, kemudian data sekunder menggunakan data dari SNI 03-1726-2002 dan *website* Desain Spektra Puskim PU. Tahapan penelitian ini ialah mengambil data tanah dari proyek dan data gempa menurut SNI 03-2716-2002 dan menggunakan data gempa dari Desain Spektra Indonesia Puskim PU, kemudian metode perhitungan analisis potensi likuifaksi menggunakan metode *Young-Idriss* dan metode *Idriss Boulanger*. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan adalah potensi likuifaksi hanya terjadi pada lapisan tanah 01.00 – 01.50 berdasarkan SNI 03-1726-2002 dan juga berdasarkan Desain Spektra Indonesia Puskim PU pada *Bore Hole* 01 dan *Bore Hole* 02.

Kata Kunci : Belawan, likuifaksi, reklamasi

ABSTRACT

Belawan is one of the areas in North Sumatra which is directly adjacent to the Malaka Strait. Belawan is used as a port, where ships dock for passenger ships and logistics transport ships. One of the terminals in the Belawan Port area requires land expansion, so there is a Belawan reclamation project to expand the container terminal in order to maximize Belawan's potential and make the loading and unloading process of logistics goods more optimal. The purpose of this study was to determine the potential for liquefaction in the Belawan Reclamation Project Phase-1 when an earthquake occurred at magnitudes 6.0 SR, 6.5 SR, 7.0 SR, 7.5 SR, 8.0 SR at Bore Hole 01 and Bore Hole 02. Based on the soil distribution map, Belawan is an area with soft and organic soil types. This makes the Belawan Reclamation Project must be investigated for the potential for liquefaction. The research method used is using primary data from project bore log data, then secondary data using data from SNI 03-1726-2002 and the Puskim Public Works Spektra Design website. The stages of this research were to collect soil data from the project and earthquake data according to SNI 03-2716-2002 and to use geother data from the Indonesian Public Works Spektra Design Center, then to calculate the liquefaction potential analysis using the Young-Idriss method and the Idriss Boulanger method. The results of the research that has been carried out is that the liquefaction potential only occurs in the soil layer 01.00 – 01.50 based on SNI 03-1726-2002 and also based on the Design Spectra of Indonesia Puskim PU on Bore Hole 01 and Bore Hole 02.

Keywords: *Belawan, liquefaction, reclamation*

DAFTAR ISI

	Halaman
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
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terdahulu.....	4
2.2 Tanah	5
2.2.1 USCS (<i>Unified Soil Classification System</i>).....	6
2.2.2 USDA <i>Texture Triangle</i>	9
2.3 Gempa Bumi	13
2.3.1 Jenis-Jenis Sesar (Patahan).....	13
2.3.2 Jenis-Jenis Gempa Bumi.....	14
2.3.3 Besar Kekuatan Gempa.....	16
2.3.4 Riwayat Gempa Bumi di Sumatera Utara	18
2.4 Likuifaksi.....	19
2.4.1 Syarat Terjadinya Likuifaksi.....	19
2.4.2 Jenis-Jenis Likuifaksi	20
2.4.3 Metode Evaluasi Potensi Likuifaksi	21
2.4.4 Proses Terjadinya Likuifaksi.....	22
2.4.5 Dampak Terjadinya Likuifaksi	23
2.4.6 Histori Kasus Likufaksi di Indonesia.....	25
2.5 Parameter Identifikasi Potensi Likuifaksi.....	28
2.5.1 Tegangan Tanah	28
2.5.2 Nilai N-SPT, $(N_1)_{60}$ dan $(N_1)_{60cs}$	30
2.5.3 Percepatan Gempa Dasar (a_{max}).....	35
2.5.4 <i>Stress Reduction Factor</i> (r_d).....	36

2.5.5	<i>Cyclic Stress Ratio (CSR)</i>	37
2.5.6	<i>Cyclic Resistance Ratio (CRR)</i>	38
2.5.7	<i>Factor of Safety (FS)</i>	41
2.6	Reklamasi.....	41
2.6.1	Tujuan Reklamasi.....	42
2.6.2	Jenis - Jenis Reklamasi.....	42
2.6.3	Teknik Dasar Reklamasi	43
BAB III.	METODOLOGI PENELITIAN	45
3.1	Lokasi Penelitian	45
3.2	Teknik Pengumpulan Data	45
3.2.1	Data Primer.....	46
3.2.2	Data Sekunder	48
3.3	Alur Perhitungan	48
3.4	Tahapan Penelitian	49
3.5	Kerangka Berpikir	50
BAB IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1	Perhitungan Tegangan Tanah.....	51
4.1.1	Perhitungan Tegangan Tanah Pada BH.01.....	51
4.1.2	Perhitungan Tegangan Tanah Pada BH.02	56
4.2	Perhitungan Nilai $(N_1)_{60}$, dan $(N_1)_{60cs}$	60
4.2.1	Perhitungan $(N_1)_{60}$, dan $(N_1)_{60cs}$ Pada BH.01	60
4.2.2	Perhitungan $(N_1)_{60}$, dan $(N_1)_{60cs}$ Pada BH.02	64
4.3	Perhitungan Nilai Percepatan Gempa Dasar (α_{max})	68
4.3.1	Berdasarkan SNI 03-1726-2002	68
4.3.2	Berdasarkan Desain Spektra Indonesia PuskimPU.....	68
4.4	Perhitungan <i>Stress Reduction Factor (rd)</i>	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.02	70
4.5	Perhitungan CSR Berdasarkan SNI 03-1726-2002	72
4.5.1	Perhitungan CSR Pada BH.01	72
4.5.2	Perhitungan CSR Pada BH.02	73
4.6	Perhitungan CSR Berdasarkan SNI 03-1726-2002	75
4.6.1	Perhitungan CSR Pada BH.01	75
4.6.2	Perhitungan CSR Pada BH.02	76
4.7	Perhitungan <i>Cyclic Resistance Ratio</i>	78
4.7.1	Perhitungan CRR_6 , $CRR_{6,5}$, CRR_7 , $CRR_{7,5}$, CRR_8 , Pada BH.01.....	78
4.7.2	Perhitungan CRR_6 , $CRR_{6,5}$, CRR_7 , $CRR_{7,5}$, CRR_8 , Pada BH.02.....	89
4.8	Perhitungan <i>Factor of Safety (FS)</i> Berdasarkan SNI 03-1726-2002.....	100
4.8.1	Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Pada BH.01	100
4.8.2	Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Pada BH.02	106
4.9	Perhitungan <i>Factor of Safety (FS)</i> Berdasarkan Desain Spektra Indonesia PuskimPU.....	112

4.9.1	Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Pada BH.01	112
4.9.2	Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Pada BH.02	118
4.10	Perhitungan <i>Factor of Safety</i> (FS) Berdasarkan Desain	124
4.10.1	Perhitungan Hasil Perhitungan Pada BH.01	124
4.10.2	Perhitungan Hasil Perhitungan Pada BH.02	129
4.10.3	Pembahasan Secara Umum	133
BAB IV. SIMPULAN DAN SARAN.....		135
5.1	Kesimpulan.....	135
5.2	Saran	135
DAFTAR PUSTAKA		136
LAMPIRAN.....		138



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Sistem Klasifikasi Tanah USCS.....	7
Tabel 2 Tanah Berbutir Kasar (<i>Coarse Grained Soils</i>).....	8
Tabel 3 Tanah Berbutir Halus (<i>Fine Grained Soils</i>)	9
Tabel 4 Jenis Gempa Tektonik Berdasarkan Kedalaman Gempa.....	16
Tabel 5 Skala Intensitas Gempa Bumi BMKG.....	17
Tabel 6 <i>Magnitude</i> Gempa dan Pengaruh Gempa	18
Tabel 7 Data Gempa Bumi di Sumatera Utara dalam 50 Tahun Terakhir.....	19
Tabel 8 Perbedaan <i>Cyclic Liquefaction</i> dan <i>Flow Liquefaction</i>	22
Tabel 9 Histori Kejadian Likuifaksi di Pulau Sumatera	28
Tabel 10 Nilai Korelasi Parameter Tanah dengan N-SPT untuk Jenis Tanah Pasir (<i>Sand</i>) dan Lempung (<i>Clays</i>)	30
Tabel 11 Faktor Koreksi Uji SPT (Skempton).....	32
Tabel 12 Tabel Nilai Korelasi Hubungan antara <i>Soil Behaviour Type Index</i> (I_c), <i>Fines Content</i> (%) dan Jenis Tanah Klasifikasi USCS	35
Tabel 13 Hasil Perhitungan Interpolasi Berat Isi Tanah Pada BH.01	53
Tabel 14 Hasil Perhitungan Tegangan Vertikal Total Tanah, Tekanan Air Pori Tanah, dan Tegangan Vertikal Efektif Tanah Pada BH.01	56
Tabel 15 Hasil Perhitungan Interpolasi Berat Isi Tanah Pada BH.02	58
Tabel 16 Hasil Perhitungan Tegangan Vertikal Total Tanah, Tekanan Air Pori Tanah, dan Tegangan Vertikal Efektif Tanah Pada BH.02	61
Tabel 17 Hasil Perhitungan Nilai $(N_1)_{60}$ Pada BH.01	63
Tabel 18 Hasil Perhitungan Nilai $(N_1)_{60sc}$ Pada BH.01	64
Tabel 19 Hasil Perhitungan Nilai $(N_1)_{60}$ Pada BH.02.....	66
Tabel 20 Hasil Perhitungan Nilai $(N_1)_{60sc}$ Pada BH.02	68
Tabel 21 Hasil Perhitungan <i>Stress Reduction Factor</i> Pada BH.01	71
Tabel 22 Hasil Perhitungan <i>Stress Reduction Factor</i> Pada BH.02	72
Tabel 23 Hasil Perhitungan CSR Pada BH.01 Berdasarkan SNI 03-1726-2002	74
Tabel 24 Hasil Perhitungan CSR Pada BH.02 Berdasarkan SNI 03-1726-2002	75
Tabel 25 Hasil Perhitungan CSR Pada BH.01 Berdasarkan Desain Spektra Indonesia Puskim PU	77
Tabel 26 Hasil Perhitungan CSR Pada BH.02 Berdasarkan Desain Spektra Indonesia Puskim PU	78
Tabel 27 Hasil Perhitungan $CRR_{7,5}$ Pada BH.01	80
Tabel 28 Hasil Perhitungan CRR_6 Pada BH.01	82
Tabel 29 Hasil Perhitungan $CRR_{6,5}$ Pada BH.01	84
Tabel 30 Hasil Perhitungan CRR_7 Pada BH.01	87
Tabel 31 Hasil Perhitungan CRR_8 Pada BH.01	89
Tabel 32 Hasil Perhitungan $CRR_{7,5}$ Pada BH.02	91
Tabel 33 Hasil Perhitungan CRR_6 Pada BH.02	93
Tabel 34 Hasil Perhitungan $CRR_{6,5}$ Pada BH.02	95
Tabel 35 Hasil Perhitungan CRR_7 Pada BH.02	98
Tabel 36 Hasil Perhitungan CRR_8 Pada BH.02	100

Tabel 37 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 6.0 SR Pada BH.01	102
Tabel 38 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 6.5 SR Pada BH.01	103
Tabel 39 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 7.0 SR Pada BH.01	104
Tabel 40 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 7.5 SR Pada BH.01	105
Tabel 41 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 8.0 SR Pada BH.01	106
Tabel 42 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 6.0 SR Pada BH.02	107
Tabel 43 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 6.5 SR Pada BH.02	109
Tabel 44 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 7.0 SR Pada BH.02	110
Tabel 45 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 7.5 SR Pada BH.02	111
Tabel 46 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 8.0 SR Pada BH.02	112
Tabel 47 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 6.0 SR Pada BH.01	113
Tabel 48 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 6.5 SR Pada BH.01	114
Tabel 49 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 7.0 SR Pada BH.01	116
Tabel 50 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 7.5 SR Pada BH.01	117
Tabel 51 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 8.0 SR Pada BH.01	118
Tabel 52 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 6.0 SR Pada BH.02	119
Tabel 53 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 6.5 SR Pada BH.02	120
Tabel 54 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 7.0 SR Pada BH.02	121
Tabel 55 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 7.5 SR Pada BH.02	122
Tabel 56 Hasil Perhitungan <i>factor of safety</i> Dengan Magnitudo 8.0 SR Pada BH.02	124
Tabel 57 Ringkasan Hasil Perhitungan Analisis Potensi Likui-faksi Pada Proyek Reklamasi Belawan Phase-1	133

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 <i>The Soil Texture Triangle</i>	10
Gambar 2 Tekstur Tanah <i>Clay, Loam, Sand, dan Silt</i>	11
Gambar 3 <i>Soil Texture Triangle</i>	13
Gambar 4 <i>Normal Fault</i>	14
Gambar 5 <i>Reverse Fault</i>	14
Gambar 6 <i>Strike Fault</i>	14
Gambar 7 Tanah Dalam Keadaan Normal, Likuifaksi dan Setelah Likuifaksi	23
Gambar 8 Grafik Korelasi <i>Measured Fines Content</i> dengan <i>Soil Behaviour Type Index</i>	33
Gambar 9 Hubungan antara <i>Measured Fines Content (%)</i> , <i>Soil Behaviour Index (Ic)</i> dan Klasifikasi Tanah USCS	34
Gambar 10 Halaman Puskim Desain Spektra Indonesia	35
Gambar 11 Percepatan Gempa Dasar SNI 03-1726-2002.....	36
Gambar 12 Kurva Hubungan antara N-SPT <i>Clean Sand</i> dengan Gempa Bumi Magnitudo 7,5 SR.....	39
Gambar 13 Lokasi Penelitian.....	45
Gambar 14 SNI 03-1726-2002 Wilayah Medan.....	46
Gambar 15 Halaman Depan <i>Web</i> Desain Spektra Indonesia Puskim PU.....	47
Gambar 16 Halaman Hasil Nilai Percepatan Gempa Dasar Puskim PU	47
Gambar 17 Metode Youd-Idriss 2001 dan Idriss-Bowlanger 2008.....	48
Gambar 18 Bagan Alir Penelitian.....	50
Gambar 19 Hasil Respon Spektra Lokasi Proyek Reklamasi Belawan Phase-1	69
Gambar 20 <i>Factor of Safety</i> Pada BH.01 Berdasarkan SNI 03-1726-2002.....	126
Gambar 21 <i>Factor of Safety</i> Pada BH.01 Berdasarkan Puskim PU	127
Gambar 22 <i>Factor of Safety</i> Pada BH.02 Berdasarkan SNI 03-1726-2002.....	130
Gambar 23 <i>Factor of Safety</i> Pada BH.02 Berdasarkan Puskim PU	131

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Data <i>Bore Log</i> Pada Proyek Reklamasi Belawan Phase-1	138
Lampiran 2 Data <i>Bore Log</i> Pada Proyek Reklamasi Belawan Phase-1	139



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Reklamasi adalah sebuah metode mengubah perairan menjadi daratan baru yang bisa difungsikan sebagai sarana publik. Sebab dilakukannya reklamasi biasanya karena adanya kepentingan untuk memaksimalkan perairan yang dangkal agar bisa dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan dan juga mengembangkan daerah di sekitar perairan. Reklamasi erat kaitannya dengan likuifaksi karena interaksi antara lapisan tanah pada reklamasi akan langsung berhadapan dengan perairan yang sangat luas. Likuifaksi adalah bercampurnya partikel tanah dengan air di dalam tanah yang disebabkan oleh gempa bumi dan bisa membuat daya dukung pada tanah mengalami perlemahan sehingga menyebabkan konstruksi di atasnya rusak. Hal tersebut bisa saja terjadi pada daerah yang memiliki tanah eksisting lunak dan langsung berhadapan dengan laut.

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

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas dan data gempa 50 tahun yang terjadi di Sumatera Utara, maka perumusan masalah yang diambil dalam penelitian ini adalah apakah Proyek Reklamasi Belawan Phase-1 berpotensi mengalami likuifaksi ketika terjadi gempa bumi dengan magnitudo 6,0 SR, 6,5 SR, 7,0 SR, 7,5 SR, dan 8,0 SR?

1.3 Maksud Dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisis potensi likuifaksi pada Proyek Reklamasi Belawan Phase 1 menggunakan data *bore log* berdasarkan data riwayat gempa yang terjadi dalam rentang waktu 50 tahun terakhir. Sedangkan tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

Untuk mengetahui perbandingan nilai *safety factor* dan besar magnitudo yang memiliki potensi likuifaksi pada tiap lapisan tanah dengan menggunakan referensi nilai percepatan gempa berdasarkan SNI 03-1726-2002 dan Desain Spektra Indonesia Puskim PU.

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, diperlukan pembatasan masalah agar menghindari adanya perluasan pembahasan maupun masalah pada penelitian ini. Adapun dalam penelitian ini pembahasan akan dibatasi pada :

1. Titik *boring* yang akan diteliti adalah *bore hole* dengan nomor BH.01 dan BH.02
2. Penelitian ini tidak menganalisis penurunan tanah (*settlement*)
3. Nilai percepatan gempa dasar (α_{max}) yang digunakan berdasarkan pada SNI 03-1726-2002 dan *website* Desain Spektra Indonesia Puskim PU.

4. Magnitudo gempa yang akan digunakan dalam analisis ini adalah 6,0 SR, 6,5 SR, 7,0 SR, 7,5 SR, dan 8,0 SR
5. Metode perhitungan analisis potensi likuifaksi menggunakan gabungan antara metode Yound-Idriss (2001) dan metode Idriss Boulanger (2008)

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan pembaca tentang potensi likuifaksi yang terjadi di Indonesia
2. Dapat menjadi rujukan atau referensi bagi instansi atau perusahaan terkait yang membutuhkan informasi mengenai potensi likuifaksi di Belawan.
3. Dapat menjadi bahan rujukan atau referensi dama pembahasan yang sama tentang likuifaksi khususnya bagi mahasiswa/i fakultas teknik maupun pihak-pihak lain yang membutuhkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya menjadi bahan bagi penulis untuk mencari perbandingan dan kajian yang linier sehingga penulis bisa menambah wawasan, ilmu pengetahuan serta untuk mengkaji penelitian yang akan penulis lakukan. Dalam hal ini, penulis mengangkat beberapa sumber jurnal, tugas akhir maupun referensi lainnya terkait dengan analisis potensi likuifaksi yang terjadi di Sumatera Utara. Berikut merupakan beberapa penelitian yang pernah melakukan analisis tentang likuifaksi, yaitu antara lain :

- a. Jurnal ilmiah Mario Hutagalung dan Simon Dertha Tarigan dengan judul: Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa (Studi Kasus : Reklamasi Pelabuhan Kontainer Belawan Phase-2) dengan metode NCEER (*National Center of Earthquake Engineering Research*). Berdasarkan hasil penelitian tersebut, area reklamasi pelabuhan kontainer Belawan memiliki potensi likuifaksi jika terjadi gempa bumi dengan minimal magnitudo 6,9 SR dengan PGA 0.213 g berdasarkan Peta Hazard Gempa Indonesia 2010.
- b. Penelitian yang dilakukan oleh Andrianna Rahmadika dengan judul: Analisis Potensi Likuifaksi di Kota Medan Berdasarkan Data Hasil CPT dengan Metode Percepatan Gempa Donovan. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, tidak ada potensi terjadinya likuifaksi menurut perhitungan. Namun jika terjadi gempa bumi dengan magnitudo 7,5 SR, menghasilkan nilai FS < 1 yang berarti Kota Medan terdapat potensi terjadinya likuifaksi.

- c. Penelitian yang dilakukan oleh Ervito Linverando dengan judul: Analisis Potensi Likuifaksi dan Penurunan Pada Area Reklamasi Yang Berlokasi di Jakarta Utara, menggunakan metode vibroflotation berdasarkan SNI 8460 : 2017 Berdasarkan hasil penelitian tersebut, area reklamasi tersebut memiliki potensi terjadinya likuifaksi jika terjadi gempa dengan kekuatan 7,5 SR dengan PGA 0,3745 g pada kedalaman 11-20 meter

2.2 Tanah

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

- a. Kerikil adalah butiran batu dengan ukuran 5 sampai 150 mm.
- b. Berangkal (batuan), ada batu besar, Ukuran biasanya > 250-300 mm.
Untuk batu paving berukuran antara 150 mm dan 250 mm.
- c. Pasir (*sand*) adalah partikel batuan dengan ukuran antara 0,075 dan 5 mm mm, ukuran partikel kasar bervariasi antara 3 mm – 5 mm, sedangkan partikel kecil berukuran kurang dari 1 mm.
- d. Lanau, adalah partikel batuan dengan ukuran 0,002 mm sampai 0,075mm.
Biasanya, tanah lanau terendapkan di danau atau kolam dekat pantai di muara sungai.
- e. lempung (*clay*), merupakan partikel mineral dengan ukuran <0,002 mm.
Partikel-partikel ini adalah sumber utama kohesi di negara-negara kohesif.

- f. Koloid adalah partikel dengan dimensi $<0,001$ mm. Selain klasifikasi lahan Bowles (1989) yang dijelaskan di atas.

2.2.1 USCS (*Unified Soil Classification System*)

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

Sistem untuk mengklasifikasikan tanah yang dianjurkan oleh A. Cassagrande pada tahun 1942 yang selanjutnya direvisi oleh *The Corps Of Engineers* dan *The US Bureau of Reclamation* tahun 1952. Pada klasifikasi ini tanah dibagi menjadi 2 (dua) jenis, yaitu :

1. Tanah berbutir kasar yang merupakan kerikil (*gravel*) dan pasir (*sand*) dapat diidentifikasi jika butiran kasar tersebut lebih dari 50% tertahan di saringan No.200.
2. Tanah berbutir halus yaitu lanau (*Silts*) dan lempung (*clay*) dapat diidentifikasi jika butiran halus tersebut lolos dari saringan No.200 diatas 50%.

Tabel 1 Sistem Klasifikasi Tanah USCS (Hardiyatmo, 2010)

Divisi Utama	Simbol Kelompok	Nama Jenis	
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih, tertahan saringan no.200	Kerikil bersih (sedikit atau tidak ada butiran halus)	GW Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		GP Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		GM Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung	
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GC Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung	
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no.4	Kerikil sedikit atau tidak ada butiran halus	SW Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
			SP Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		SM Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	
		SC Pasir berlempung, campuran pasir	
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih, lolos saringan no.200	ML Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	
		Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	CL Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau
		OL Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
		MH Lanau tak organik atau pasir halus, lanau elastis	
Tanah dengan kadar organic tinggi	Lanau dan lempung batas cair > 50%	CH Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi	
		OH Lempung organik dengan plastisitas tinggi	
	P _t	Gambut dan tanah lain dengan kandungan organic tinggi	

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

Tabel 2 Tanah Berbutir Kasar (California Department of Transportation, 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>
Lebih dari 50% gradasi kasar lebih besar dari ukuran saringan No.4	<i>Gravels with fines (More than 12% fines)</i>
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 snads, gravelly sands, little or no fines</i>

Lanjutan Tabel 2

Lebih dari 50% gradasi kasar lebih kecil dari ukuran saringan No.4	SP	<i>Poorly graded sands, gravelly sands, little of no fines</i>
		<i>Sands with fines (Less than 12% fines)</i>
	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 (*California Department of Transportation, 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 sands, 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, sands 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>

Tanah organik biasanya mudah ditekan, teksturnya berlumpur dan lembab. Untuk jenis tanah *highly organic soils* diklasifikasikan dalam satu kelompok. Biasanya, komponen tanah tersebut terdiri dari sisa-sisa dedaunan yang telah gugur, ranting-ranting maupun bahan organik lainnya.

Jenis tanah yang memiliki potensi likuifaksi berdasarkan jenis-jenis tanah diatas adalah jenis tanah dengan ukuran 0,075mm yaitu tanah lanau (*silt*) dengan

sifatnya yang lengket dan tanah berpasir dengan sifatnya yang tidak lengket. Keduanya memiliki persamaan yaitu jenis tanah yang tidak padat walaupun berbeda jenisnya

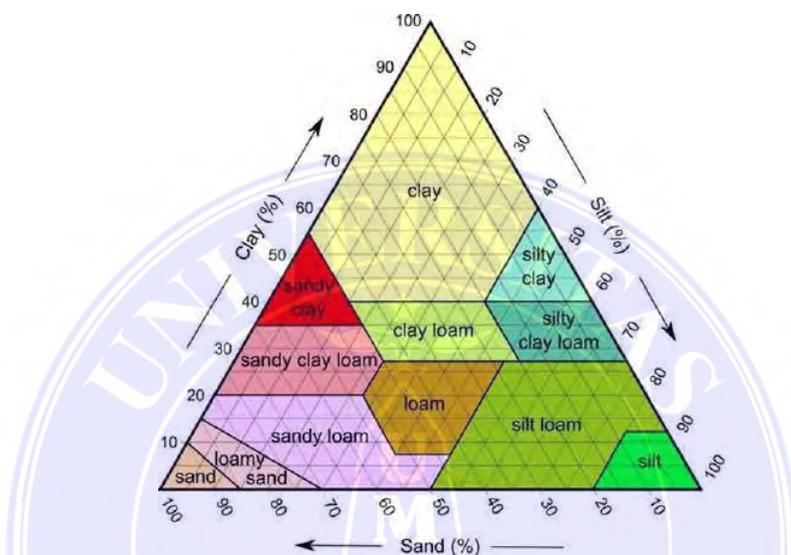
Tanah terdiri atas 3 komponen utama yaitu, air, udara dan bahan padat. Air sangat mempengaruhi sifat-sifat tanah karena jika rongga pada tanah tersebut terisi oleh air sepenuhnya, maka tanah akan dikatakan dalam kondisi jenuh. Sedangkan tanah dengan kondisi jenuh sangat berbahaya bagi bangunan di atasnya 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.

2.2.2 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.



Gambar 1 *The Soil Texture Triangle* (Braja M. Das, 2011)

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

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*).

Untuk bisa membedakan jenis tanah *sand*, *clay silt* bisa dengan cara melihatnya secara langsung seperti yang ada di bawah ini



Gambar 2 Tekstur Tanah Clay, Loam, Sand dan Silt, (Prihatiningsih, 2019)

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.

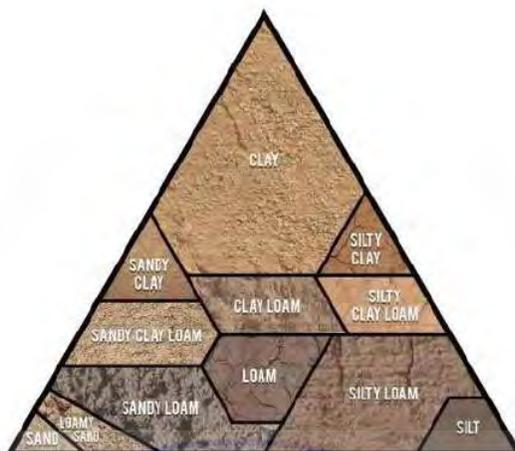
Pasir halus (*fine sand*) memiliki ukuran partikel 0,075 mm hingga 0,425 mm, pasir sedang (*medium sand*) memiliki ukuran 0,425 mm hingga 2 mm, dan pasir kasar (*coarse sand*) berukuran 2 mm hingga 4,75 mm. Tanah berpasir mudah diidentifikasi yaitu dengan menggenggam tanah kering kemudian teteskan sedikit 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 partikelbatuan kecil yang terbentuk secara alami.

Tanah lanau merupakan tanah yangmenahan kelembapan dengan nilai kesuburan yang tinggi dan biasanya digunakan dalam bidang pertanian. Ukuran partikel lanau bervariasi antara 0,002 hingga 0,075mm. 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*, (Braja M. Das, 2017)

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.

2.3 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.

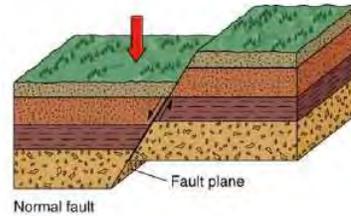
2.3.1 Jenis-Jenis Patahan

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 patahan yang memungkinkan satu blok (*footwall*) lapisan batuan bergerak dengan arah relative naik terhadap blok lainnya (*hanging*

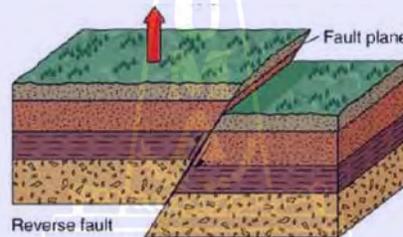
wall). Ciri dari patahan ini adalah sudut kemiringan besar hingga mendekati 90 derajat



Gambar 4 Normal *Fault*, (Geograph88, 2014)

2. *Reverse Fault*

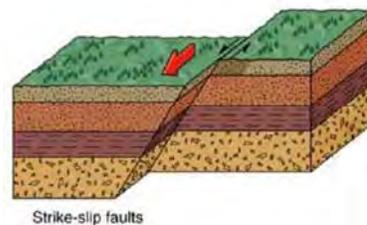
Merupakan jenis patahan pada Gambar 5 dengan arah gerak *hanging wall* relatif naik daripada *footwall*. Sudut kemiringan *reverse fault* adalah kurang dari 45 derajat.



Gambar 5 *Reverse Fault*, (Geograph88, 2014)

3. *Strike Fault*

Merupakan jenis patahan pada Gambar 6 dengan arah gerak yang relative mendatar ke arah kiri atau kanan. Penyebab patahan ini adalah karena adanya gaya yang mengenai sebuah batuan dari arah samping.



Gambar 6 *Strike Fault*, (Geograph88, 2014)

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. Dampak yang dapat ditimbulkan akibat dari gempa bumi vulkanik yaitu adanya kabut asap dan semburan abu vulkanik yang dapat menghalangi sinar matahari hingga menimbulkan 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 sesar dengan jenis yang berbeda-beda sesuai dengan arah geraknya. Biasanya jika terjadi gempa tektonik maka akan terjadi gempa-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
(Badan Geologi, 2019)

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 Mercalli 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 (Badan Geologi, 2019)

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. Bendabenda 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. Banyak retakan muncul di dinding bangunan sederhana, sebagian runtuh dan kaca pecah. Beberapa plester dinding juga terkelupas serta sebagian besar genteng akan meluncur ke bawah. Struktur bangunan akan mengalami kerusakan ringan hingga sedang.	VI	89 - 167
IV	Kerusakan Sedang	Sebagian besar dinding bangunan permanen runtuh dan struktur bangunan rusak parah.	VII - VIII	168-564
V	Kerusakan Berat		IX - XII	>564

Penggunaan skala MMI sangat jarang digunakan dibandingkan dengan skala richter dikarenakan skala MMI hanya digunakan jika tidak terdapat peralatan seismometer yang dapat mengukur kekuatan gempa bumi 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 symbol

Mw. Pembagian besar pengaruh gempa berdasarkan besaran *magnitude* skala richter dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 *Magnitude* Gempa dan Pengaruh Gempa (Wardhiny, 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

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. 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
(Badan Geologi, 2019)

<i>Year</i>	<i>Lat</i>	<i>Lon</i>	<i>Mag</i>	<i>Region</i>	<i>Distance To Medan City</i>
1976	3.397	96.318	7	Sumatera Utara, Indonesia	- km
1987	2.244	98.866	6.4	Sumatera Utara, Indonesia	- km
1990	3.908	97.457	6.7	Sumatera Utara, Indonesia	- km
1993	3.144	97.633	6.2	Sumatera Utara, Indonesia	- km
1996	3.445	97.943	6.3	Sumatera Utara, Indonesia	- km
2005	2.085	97.108	8.6	Sumatera Utara, Indonesia	- km
2005	1.989	97.041	6.9	Nias, Sumatera Utara	303.0 km
2005	2.022	97.942	6.3	Sumatera Utara, Indonesia	- km
2006	3.390	99.079	6.3	Sumatera Utara, Indonesia	- km
2006	1.994	96.995	6.3	Nias, Sumatera Utara	303.0 km
2010	2.383	97.048	7.8	Sumatera Utara, Indonesia	- km
2011	2.965	97.893	6.7	Sumatera Utara, Indonesia	- km
2012	3.009	97.896	6.1	Sumatera Utara, Indonesia	- km
2014	2.838	99.072	5.4	Pematang Siantar, Sumatera Utara	124.4 km
2015	1.895	98.958	5.3	Sibolga, Sumatera Utara	342.9 km
2016	2.494	99.194	5.1	Parapat, Sumatera Utara	173.0 km
2017	3.317	98.470	5.4	Parapat, Sumatera Utara	173.0 km
2017	3.316	98.469	6	Kabanjahe, Sumatera Utara	75.0 km
2018	1.997	99.004	5.1	Sibolga, Sumatera Utara	342.9 km
2019	1.909	97.829	5.2	Onan Ganjang, Sumatera Utara	240.7 km
2020	3.2862	98.2144	5.2	Berastagi, Sumatera Utara	65.9 km
2022	1.909	97.829	5.9	Onan Ganjang, Sumatera Utara	240.7 km
2022	1.994	96.995	5.1	Nias, Sumatera Utara	303.0 km

2.4 Likuifaksi

Likuifaksi adalah proses berubahnya sifat tanah, dari sifat *solid* menjadi *liquid*. Artinya adalah kecenderungan tanah menjadi seperti air. Likuifaksi sendiri terjadi pada jenis tanah dengan kondisi jenuh atau *undrained*. Biasanya likuifaksi merupakan jenis bencana susulan akibat dari adanya bencana utama, yaitu gempa bumi. *Magnitude* gempa bumi yang besar dan terjadi secara terus-menerus dapat berdampak serius bagi wilayah di sekitarnya atau bahkan hingga ratusan kilometer jauhnya. (Mercuson 1978). 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.

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, kondisikondisi 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 maupun 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 & Prihatiningsih, 2019)

	Tipe Likuifaksi	
	Gempa Likuifaksi	Aliran Likuifaksi
Reaksi Tegangan Tanah	Tekanan melunakkan dan menguatkan	Tekanan yang melunakkan
Kondisi Tegangan Tanah	Tegangan efektif tidak mencapai nol	Tegangan efektif menapai 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 *cyclic liquefaction* tidak menjadi cair, hanya lunak.

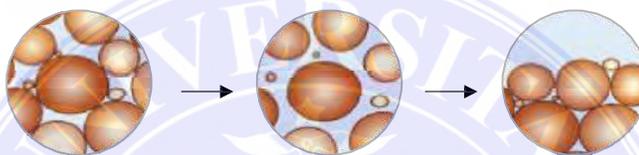
2.4.3 Metode Evaluasi Potensi Likuifaksi

Dalam menganalisis potensi likuifaksi, (Kusumawardani, 2016) menyatakan perlu dilakukan beberapa tahapan evaluasi awal mengenai syarat-syarat terjadinya likuifaksi. Tahapan evaluasi bahaya likuifaksi tersebut yaitu :

1. 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*.
2. Jika syarat pertama terpenuhi, maka dapat dilakukan evaluasi kedua yaitu mengenai penyebab likuifaksi pada lokasi tersebut. Likuifaksi biasanya disebabkan oleh gempa dengan magnitudo $> 5,0$ 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.
3. 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 likuifaksi, penting untuk menyadari bahwa endapan tanah terdiri dari partikel-partikel. Jika dilihat lebih dekat, partikel-partikel ini terletak berdekatan dan saling menopang satu sama lain. Ketika partikel-partikel tersebut bersentuhan satu sama lain, tanah memiliki kekuatan untuk menopang beban. Kondisi ini menguntungkan bagi tanah karena beban pada tanah dipikul oleh semua partikel secara bersamaan.



Gambar 7. Proses Terjadinya Likuifaksi, (Bowles, 2014)

Pada Gambar 7 terlihat bahwa ada banyak rongga berisi air di antara partikel tanah. Dalam kondisi normal, tekanan pori air di dalam tanah u relatif rendah. Ketika mengalami tekanan dari getaran yang cepat, partikel air akan terdorong keluar hingga tekanannya meningkat. Namun, selama gempa bumi, karena getaran yang berulang dan cepat, air tidak memiliki cukup waktu untuk keluar melalui rongga-rongga tanah dan mendorong partikel-partikel tanah keluar dari tanah. Pada akhirnya, partikel-partikel tanah tidak akan mampu mendistribusikan beban dengan baik.

2.4.5 Dampak Terjadinya Likuifaksi

Menurut (Idriss, 1982), terdapat 8 (delapan) Dampak dan bahaya umum yang terjadi akibat bahaya likuifaksi. Dampak-dampak ini meliputi:

1. *Sand Boils*

Sand Boils juga dapat didefinisikan sebagai semburan pasir. Sand boil adalah fenomena di mana tekanan di bawah tanah meningkat hingga menembus lapisan pasir. Air tanah kemudian muncul dan menjadi seperti bisul berbentuk kerucut dengan campuran pasir.

2. *Flow Failures*

Biasanya terjadi pada tanggul yang miring. Aliran pasir bergerak dari posisi yang lebih tinggi ke posisi yang lebih rendah pada tanggul. Kegagalan aliran dapat terjadi pada tanggul dengan kemiringan lebih besar dari 3° , yang juga sering disebut sebagai longsor.

3. *Lateral Spreads*

Perambatan lateral adalah gerakan tanah yang diakibatkan oleh respon tanah terhadap kombinasi gravitasi dan inersia yang ditimbulkan oleh gempa bumi. Penyebaran lateral biasanya terjadi pada lereng yang landai dengan kemiringan $0,3-3^\circ$. Pada kondisi ini, tanah bergerak menuju permukaan bebas, seperti aliran sungai. Pergerakan permukaan tanah dapat menyebabkan kerusakan pada substruktur bangunan.

4. *Ground Oscillation*

Likuifaksi adalah fenomena di mana pencairan terjadi pada endapan tanah di bawah area pergerakan tanah. Likuifaksi biasanya terjadi pada massa tanah yang tetap utuh di bawah permukaan tanah. Jika lapisan tanah bawah mencair dan lapisan tanah atasnya tidak, maka lapisan tanah atas akan bergerak naik dan turun di bawah pengaruh lapisan tanah bawah yang mencair. Hal ini mengakibatkan retakan besar dan tabrakan antar blok.

5. *Loss of Bearing Capacity*

Ketika tanah mencair, tanah kehilangan kekuatannya untuk menahan beban struktur di atasnya, sehingga tidak memungkinkan untuk membangun sistem struktur bangunan dengan struktur fondasi yang kuat. Ketika hal ini terjadi, bangunan bawah tanah seperti ruang bawah tanah dan jaringan pipa bawah tanah juga akan naik ke permukaan, yang biasanya disebut *buoyant rise of buried structure*.

6. *Buoyant Rise of Buried Structure*

Pada kondisi tanah mencair, tangka, pipa, kayu hingga bangunan di atasnya akan terkubur ke dalam tanah. Kondisi kerusakan ini dapat dikatakan hampir mirip dengan *loss of bearing capacity*.

7. *Ground Settlement*

Merupakan jenis penurunan tanah yang terjadi akibat guncangan gempa. Penurunan tanah ini dikenal sebagai subsidensi atau pengendapan. Penyebab utamanya adalah konsolidasi atau kegagalan tanah yang terjadi di bawah pondasi. *Ground settlement* dapat menyebabkan bangunan bergeser, miring, merenggang, terpuntir, tertekuk atau kombinasi dari kelimanya. Seberapa parah tingkat kerusakan bangunan tergantung pada tingkat keparahan penurunan tanah, jenis, kekuatan pondasi, dan struktur bangunan.

8. *Failure of Retaining Walls*

Ini adalah jenis kerusakan yang disebabkan oleh peningkatan beban lateral pada tanah yang dicairkan. Kondisi ini menyebabkan berkurangnya

kekuatan massa tanah yang dicairkan, yang mengakibatkan kegagalan struktur pondasi.

2.4.6 Histori Kasus Likuifaksi di Indonesia

Sejarah mencatat bahwa likuifaksi di Indonesia pernah terjadi di Flores (1992), Maumere (1992), Papua (1996), 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

Daerah Istimewa Yogyakarta dan sekitarnya merupakan daerah yang rawan gempa bumi karena terletak di jalur subduksi lempeng Indo-Australia yang menunjam ke bawah lempeng Eurasia. Pada hari Sabtu, 27 Mei 2006, gempa berkekuatan 6,2 skala Richter terjadi di Yogyakarta. . Gempa bumi tersebut menyebabkan tanah longsor, retakan tanah, likuifaksi dan bahaya geologi lainnya di daerah yang berarah timur laut-selatan-barat daya yang sejajar dengan patahan Opak.

2. Likuifaksi di Palu Tahun 2018

Daerah Palu terletak di tepi teluk yang menyempit ke daratan. Karena bentuk teluk tersebut, tsunami lebih kuat ke arah dangkal. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa wilayah Palu memiliki profil tanah yang rentan terhadap likuifaksi, dengan ketebalan sedimen mencapai 170 m. Pada tanggal 28 September 2018, gempa bumi berkekuatan 7,4 SR mengguncang kota Palu dan Donggala. Pusat gempa berada di 27 km timur laut Donggala pada kedalaman 10 km. Dengan kekuatan tersebut, getaran

yang terjadi sangat besar sehingga tsunami dan likuifaksi dapat terjadi di wilayah tersebut. Likuifaksi sendiri terjadi di Sigi, Petobo dan Palu Selatan.

3. Likuifaksi di Padang Tahun 2009

Provinsi Sumatera Barat diguncang oleh gempa bumi berkekuatan 7,6 SR di lepas pantai Sumatera Barat pada tanggal 30 September 2009. Gempa tersebut menyebabkan kerusakan parah di beberapa wilayah di Kota Padang, salah satunya yaitu Kab. Pariaman. Gempa tersebut tidak hanya menewaskan 1,117 orang, namun juga menyebabkan bencana susulan terjadi, yaitu likuifaksi. Likuifaksi tersebut terjadi di sepanjang pinggir pantai dengan daerah-daerah yang berbeda. Daerah yang terdampak likuifaksi yaitu Ulak Karang – Tabing, Lapai – Siteba, dan Lolong – Padang Baru. Likuifaksi yang terjadi pada daerah-daerah tersebut yaitu berupa semburan pasir atau *sand boiling*.

4. 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 diarah 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, 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
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 akibat beban dari tanah di atasnya, tanpa memperhitungkan tegangan air pori akibat air (μ), disebut tegangan vertikal total.

Tegangan vertikal total dapat dihitung sebagai 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 bertekanan mengalir keluar sehingga tekanan air pori menurun. Ketika tekanan air pori hilang, beban total tanah dipikul oleh kontak antara partikel-partikel tanah, yang disebut tegangan vertikal efektif. Tegangan vertikal efektif tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\sigma'_v = \sigma_v - \mu \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

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

σ_v = 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 analysis*, 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, 2018)

Nilai N-SPT	Soil Parameters		Nilai Koreksi	
	Description	Relative Density	γ (kN/m ³)	ϕ' (deg)
<i>Sand</i>				
0 - 3	Very Loose	0	11.0 - 15.7	25 - 30
4 - 9	Loose	15	14.1 - 18.1	27 - 32
Lanjutan Tabel 2.10				
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
<i>Clay</i>				
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 nilai korelasi 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 :

$$\gamma = \frac{\gamma_{atas} \cdot (N - N_{bawah}) + \gamma_{bawah} \cdot (N_{atas} - N)}{N_{atas} - N_{bawah}} \quad (4)$$

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 ($\gamma_{atas} - \gamma_{bawah}$)

γ_1 = nilai γ



2.5.2 Nilai N-SPT, $(N_1)_{60}$ dan $(N_1)_{60cs}$

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* yang dilaksanakan untuk mengetahui sifat rekayasa tanah di bawah permukaan tanah, terutama untuk tanah tanpa kohesi. Uji SPT dilaksanakan bersamaan dengan proses pengeboran untuk mengetahui sifat perlawanan tanah serta pengambilan sampel tanah *undisturbed* dengan teknik penumbukan.

Menurut Youd dan Idriss (2001) dan Cetin dll (2004) dalam (Lonteng, Balamba, Monintja, & Sarajar, 2013), koreksi-koreksi yang diperlukan untuk mendapatkan nilai $(N_1)_{60}$ yaitu :

$$(N_1)_{60} = N_m C_N C_E C_B C_R C_S \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

$(N_1)_{60}$ = Nilai SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh efisiensi tenaga 60%

N_m = Nilai N-SPT yang diperoleh dari pengujian lapangan

C_N = Faktor normalisasi N_m terhadap tegangan *overburden* pada umumnya

C_E = Koreksi rasio energi *hammer*

C_B = Koreksi untuk diameter lubang bor

C_R = Faktor koreksi dari panjang batang

C_S = Koreksi untuk sampel

Dimana setelah didapatkan nilai N_m 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 :

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

Dimana :

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

p_a = Tegangan atmosfer 100 kPa (1 atm)

Dimana nilai C_N tidak boleh melebihi 1,8, sedangkan untuk nilai faktor koreksi lain dapat dilihat berdasarkan Tabel berikut :

Tabel 11 Faktor Koreksi Uji SPT (Skempton)
(Badan Standardisasi Nasional, 2008)

Faktor	Jenis Alat	Parameter	Koreksi
Tegangan Vertikal Efektif	-	C_N	$2,2 / (1,2 + (\sigma'_v/p_a))$
Tegangan Vertikal Efektif	-	C_N	$C < 1,7$
Rasio Tenaga	Palu Donat (<i>Donut</i>)	C_E	0,7 - 1,2
Rasio Tenaga	Palu Pengaman (<i>Safety Hammer</i>)	C_E	0,8 - 1,3
Rasio Tenaga	Palu otomatis (<i>Automatic-trip Donut-type Hammer</i>)	C_E	1,0
Diameter Bor	65 s/d 115 mm	C_B	1,05
Diameter Bor	150 mm	C_B	1,15
Diameter Bor	200 mm	C_B	0,75
Panjang Batang	< 3 m	C_R	0,8
Panjang Batang	3 s/d 4 m	C_R	0,85
Panjang Batang	4 s/d 6 m	C_R	0,95
Panjang Batang	6 s/d 10 m	C_R	1,0
Panjang Batang	10 s/d 30 m	C_R	1,0
Pengambilan Contoh	Tabung Standar	C_S	1,1 - 1,3
Pengambilan Contoh	Tabung Dengan Pelapis (<i>liner</i>)	C_S	1,1 - 1,3

Berdasarkan Tabel 11 di atas, harus diketahui terlebih dahulu spesifikasi dari alat bor untuk mengetahui nilai C_E , C_B , C_R , dan C_S . 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 :

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

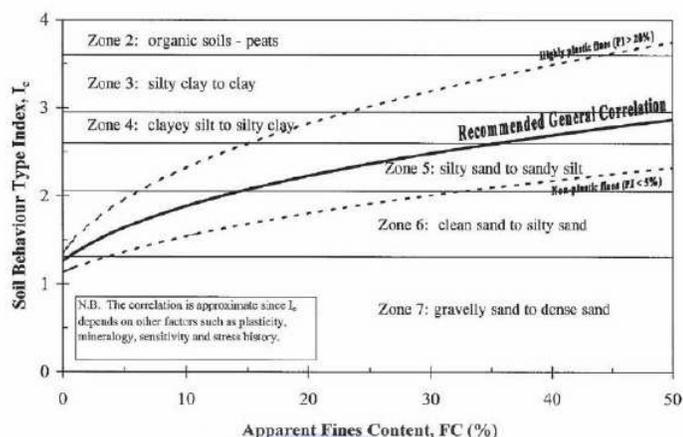
$$(N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60} \dots\dots\dots (8)$$

$$\Delta(N_1)_{60} = \begin{cases} (1,63 + \frac{9,7}{0,01} - \frac{15,7}{+0,01})^2 & \dots\dots\dots (9) \end{cases}$$

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 :

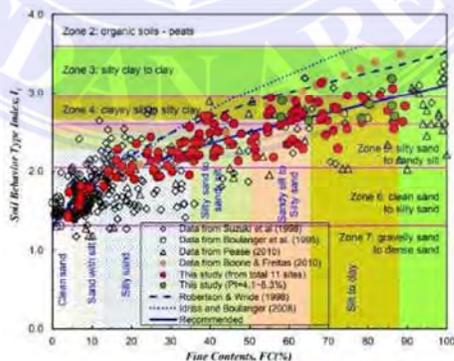
- $\alpha = 0$, dan $\beta = 1,0$ apabila $FC \geq 5\%$
- $\alpha = \exp [1,76 - \frac{190}{FC}]$ apabila $5\% < FC < 35\%$
- $\beta = [0,99 + \frac{1,5}{FC}]$ apabila $5\% < FC < 35\%$
- $\alpha = 5,0$ apabila $FC \geq 35\%$
- $\beta = 1,2$ apabila $FC \geq 35\%$

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 2.8 di bawah.



Gambar 8 Grafik Korelasi *Measured Fines Content* dengan *Soil Behaviour Type Index*, (Yi, 2014)

Dalam menghasilkan nilai korelasi yang lebih representatif, data tersebut dikumpulkan dan dimanfaatkan sebanyak 133 sampel kandungan. 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 2.9 menunjukkan hubungan antara *fines content*, zona *soil behaviour index* dan jenis tanah berdasarkan klasifikasi USCS.



Gambar 9 Hubungan antara *Measured Fines Content* (%), *Soil Behaviour Index* (I_c) dan *Klasifikasi Tanah USCS* (Yi, 2014)

Berdasarkan Gambar grafik hubungan di atas, dapat dilakukan pembacaan

Tabel sebagai berikut :

Tabel 12 Tabel Nilai Korelasi Hubungan antara *Soil Behaviour Type Index* (I_c), *Fines Content* (%) dan Jenis Tanah Klasifikasi USCS (Yi, 2014)

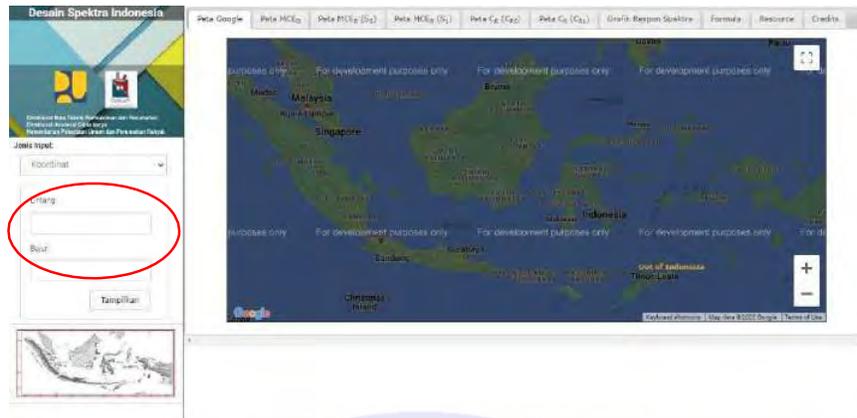
Soil Behaviour Type Index, I_c	Zone	USCS Classification	Fines Conte (%)
$I_c < 1.31$	7	Gravelly sand to dense sand	0
$1.31 \leq I_c < 1.59$	6c	Clean sand	0 - 5.0
$1.59 \leq I_c < 1.83$	6b	Sandy with silt	5.0 - 12.0
$1.83 \leq I_c < 2.276$	6a - 5c	Silty sand	12.0 - 35.0
$2.276 \leq I_c < 2.50$	5b	Silty 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 *fines content* yaitu hanya 5%, 15% dan 35%.

2.5.3 Percepatan Gempa Dasar (α_{\max})

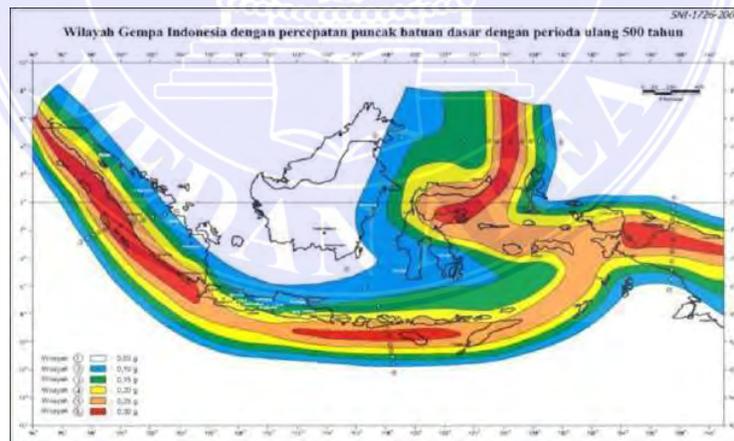
Percepatan gempa dasar atau *Peak Ground Accerleration* (PGA) atau bisa dilambangkan dengan α_{\max} merupakan percepatan puncak muka tanah akibat dari getaran gempa bumi yang terjadi. Perhitungan PGA untuk wilayah Indonesia dapat menggunakan data literatur yang sudah ada sebelumnya seperti Peta Zona Gempa Indonesia (SNI 03-1726-2002), 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 2.10 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 (Desain Spektra Indonesia)

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 03-1726-2002.



Gambar 11 Percepatan Gempa Dasar SNI 03-1726-2002 (BSN, 2002)

Berdasarkan Gambar 2.11 yaitu SNI 03-1726-2002, wilayah Kota Medan termasuk kedalam wilayah 3 dengan nilai percepatan gempa dasar yaitu 0,15 g.

2.5.4 *Stress Reduction Factor* (r_d)

Secara umum, *stress reduction factor* atau SRF (r_d) 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 di setiap kedalaman sehingga harus dihitung 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 :

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

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

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

Persamaan (10), (11) dan (12) dapat digunakan untuk kedalaman tanah < 30 m, sedangkan untuk kedalaman > 30 m digunakan rumus berikut :

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

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 :

$$CSR = 0,65 \cdot \frac{\alpha_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \cdot r_d \quad \dots\dots\dots (14)$$

Dimana :

CSR = Tegangan siklik yang menyebabkan likuifaksi

α_{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)

r_d = 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 :

$$MSF = 6,9 \cdot \exp\left(\frac{-M}{4} - 0,058\right) \leq 1,8 \quad \dots\dots\dots (15)$$

Dimana :

MSF = *Magnitude scaling factors*

M_w = Magnitudo gempa

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

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

$$f = 0,831 \frac{(N_1)_{60cs} - 160}{160} \quad \dots\dots\dots (17)$$

Dimana : 160

K_{σ} = Faktor koreksi *overburden*

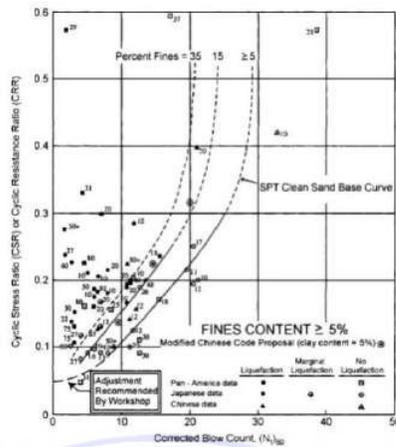
σ_v = Tegangan vertikal total tanah (kN/m²)

σ_{atm} = Tegangan atmosfer 100 kPa (1 atm)

f = Faktor kerapatan relatif tanah

$(N_1)_{60cs}$ = Nilai SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh *finer content*

Perhitungan CRR didasarkan pada metode NCEER/NSF, yaitu analisis potensi likuifaksi, yang menggambarkan ketahanan tanah terhadap likuifaksi pada tahun 1998. Berdasarkan metode ini, diperoleh suatu metode untuk mengevaluasi nilai CRR dengan menggunakan hasil SPT yang telah diuji selama bertahun-tahun, yang menghasilkan koreksi kurva hubungan antara rasio resistensi siklik (CRR) dan N-SPT, yang saat ini hanya dapat digunakan untuk perhitungan dengan magnitudo 7,5 SR. NCEER (*National Centre for Earthquake Engineering Research*) adalah sebuah lokakarya yang terdiri dari 31 ahli dan pengamat yang pertama kali diadakan pada tahun 1985 dengan tujuan untuk menghasilkan sebuah laporan tentang pengetahuan likuifaksi dan bahayanya. Hingga saat ini, laporan tersebut masih sering digunakan dalam studi bahaya likuifaksi.



Gambar 12 Kurva Hubungan antara N-SPT *Clean Sand* dengan Gempa Bumi Magnitudo 7,5 SR (Idriss & Boulanger, 2008)

Pada Gambar 2.12 terlihat bahwa kurva memisahkan data terkait lokasi yang terdampak likuifaksi dengan lokasi yang tidak terdampak likuifaksi. Kurva tersebut dikembangkan untuk jenis tanah dengan *finer content* 5% atau kurang, 15% dan 35%. Presentase kriteria tersebut merupakan dasar dalam perhitungan 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.

Pada skala gempa yang lebih kecil atau lebih besar dari 7,5 SR, maka rumus CRR yang digunakan yaitu :

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

Sedangkan untuk skala gempa referensi yaitu 7,5 SR menggunakan persamaan berikut :

$$CRR_{7,5} = \exp \left\{ \left[\frac{\sigma'_{vm}}{\sigma'_{vm0}} \right]^2 - \left[\frac{\sigma'_{vm}}{\sigma'_{vm0}} \right]^3 - \left[\frac{\sigma'_{vm}}{\sigma'_{vm0}} \right]^4 \right\} \cdot 2,8 \quad \dots \dots (19)$$

14,1

126

23,6

25,4



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 :

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

Dimana :

- $FS < 1$ (Terjadi Likuifaksi)
- $FS = 1$ (Kondisi Kritis)
- $FS > 1$ (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.

2.6 Reklamasi

Reklamasi adalah pembuatan daratan baru di atas lahan yang sebelumnya merupakan perairan. Reklamasi telah dilakukan oleh manusia selama berabad-abad. Secara bahasa, reklamasi berasal dari kata bahasa Inggris "reclaim".

Tidak banyak ahli yang mendefinisikan dan memahami reklamasi pantai. Kegiatan reklamasi pantai adalah upaya teknologi manusia untuk mengubah

lingkungan alam menjadi lingkungan buatan, mengubah ekosistem estuaria, hutan bakau, dan tipologi terumbu karang menjadi bentang alam.

Definisi lain dari reklamasi adalah pekerjaan/usaha untuk memanfaatkan daerah atau lahan berair yang relatif tidak dapat digunakan atau masih kosong menjadi lahan yang berguna dengan cara mengeringkannya. Contohnya adalah daerah pantai, lahan basah, daerah lepas pantai/laut, bagian tengah sungai dan danau besar. Pada dasarnya, reklamasi adalah tindakan mengubah perairan pantai menjadi daratan. Reklamasi adalah upaya untuk mengubah daratan rendah (biasanya terkena banjir) menjadi daratan tinggi (biasanya tidak terkena banjir).

Secara definisi, tujuan utama reklamasi adalah untuk membuat badan air yang rusak atau tidak berguna menjadi lebih baik dan lebih berguna. Area baru biasanya digunakan untuk perumahan, industri, bisnis, pertokoan, pertanian atau pariwisata. Dalam perencanaan kota, reklamasi pantai adalah salah satu langkah dalam perluasan kota. Reklamasi dilakukan di negara-negara dan kota-kota besar yang tingkat pertumbuhan dan luas lahan yang dibutuhkan meningkat pesat, namun terkendala oleh kontraksi lahan (keterbatasan lahan). Dalam kondisi seperti ini, perluasan kota ke arah darat tidak lagi memungkinkan dan dibutuhkan lahan baru.

Metode reklamasi lahan menguntungkan dan membantu negara dan kota untuk menyediakan lahan untuk berbagai keperluan (perluasan kota), perbaikan pesisir, pengembangan wisata bahari, dll.

2.6.1 Tujuan Reklamasi

Transformasi dari area yang tidak berguna atau tidak bermanfaat menjadi area yang menguntungkan. Lahan reklamasi biasanya digunakan untuk area pertanian, pemukiman, industri, pertokoan/bisnis dan tempat wisata. Pekerjaan

reklamasi juga bertujuan untuk memacu pembangunan sarana dan prasarana pendukung lainnya. Pekerjaan reklamasi lahan dapat digunakan untuk membangun pelabuhan bawah laut dan terminal pelabuhan.

2.6.2 Jenis – Jenis Reklamasi

a. Reklamasi Daratan

Reklamasi daratan, biasanya disebut sebagai reklamasi, adalah proses pembuatan lahan baru dari dasar laut atau dasar sungai. Lahan yang direklamasi disebut sebagai lahan reklamasi atau reklamasi. Membuka rawa untuk pertanian adalah contoh perusakan habitat. Di beberapa bagian dunia, hukum lingkungan membatasi atau melarang proyek reklamasi lahan baru.

b. Reklamasi Pantai

Kawasan reklamasi pantai adalah kawasan yang dihasilkan dari perluasan wilayah pesisir dengan rekayasa teknis dalam rangka pengembangan kawasan baru. Kawasan reklamasi pantai termasuk dalam kategori kawasan yang berada di pesisir pantai dan pertumbuhan dan perkembangannya sangat dipengaruhi oleh perairan laut secara sosial, ekonomi, dan fisik. Pesatnya pertumbuhan dan perkembangan kota-kota pesisir berdampak pada kawasan di sekitarnya, termasuk lahan reklamasi pantai yang merupakan perluasan dari kota-kota tersebut. Hal ini tentu saja menimbulkan berbagai permasalahan yang kompleks, sehingga perlu adanya pengaturan terhadap lokasi TPA pesisir. Dalam rangka menata pengembangan TPA pesisir, diperlukan pedoman teknis operasional bagi

pemerintah, masyarakat, dan pihak swasta dalam pelaksanaan penataan ruang di TPA pesisir.

2.6.3 Teknik Dasar Reklamasi

1. Sistem Urugan

Metode Urugan melibatkan penimbunan laut di antara tanggul dan batas reklamasi, tanpa drainase sebelumnya. Dalam metode ini, setelah tanggul mencapai ketinggian tertentu di atas permukaan laut, tanggul penutup dibangun (garis tanggul bertepatan dengan garis pantai) dan sisa timbunan di luar tanggul dibuang.

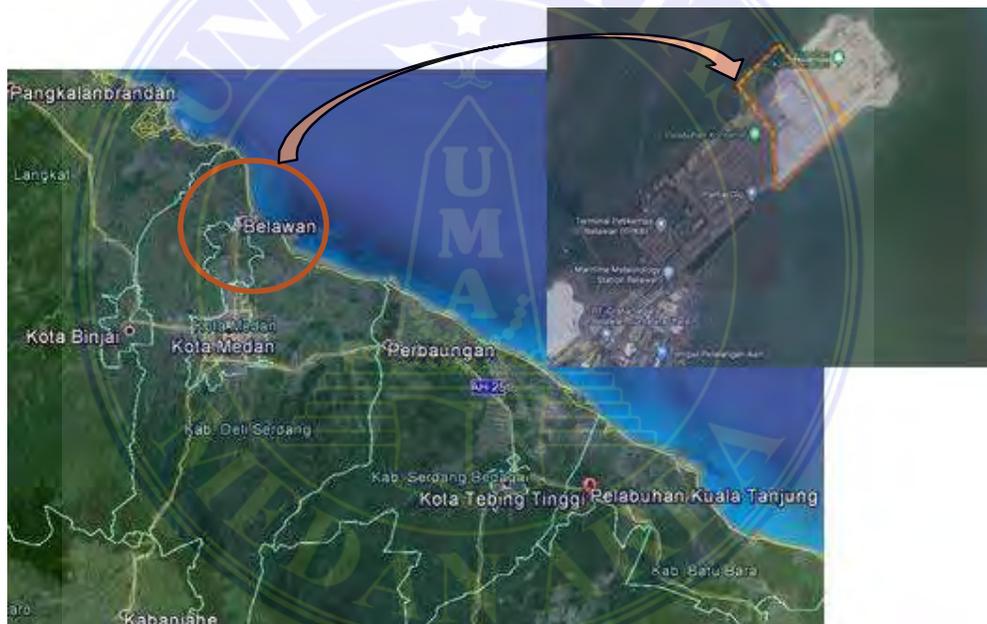
2. Sistem Polder

Metode ini melibatkan pembangunan tanggul di sekitar area yang akan direklamasi dan memompa atau membuang air laut ke laut untuk menciptakan daratan baru di bawah permukaan laut tanpa pengurukan. Sistem polder ini banyak dilakukan di Belanda dan umumnya diterapkan di daerah pesisir pedalaman (pantai pasang surut darat), di mana sistem ini sering digunakan untuk pertanian dan peternakan. Sistem ini membutuhkan pemompaan terus menerus untuk menjaga ketinggian air. Output dari pompa juga harus mempertimbangkan jumlah curah hujan di daerah tersebut. Sistem ini tidak efektif untuk daerah tropis yang curah hujannya relatif tinggi.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Proyek Reklamasi Belawan Phase -1 yang berlokasi di Pelabuhan Belawan, Kec. Medan Belawan, Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia. Pada gambar 3.1 di bawah ini merupakan lokasi proyek reklamasi yang difungsikan untuk memperluas area Terminal Peti Kemas yang sudah ada sebelumnya



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

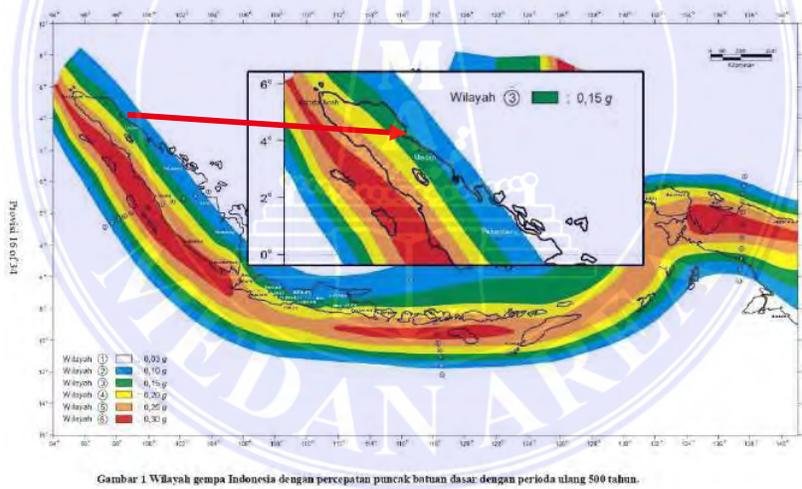
3.2.1 Data Primer

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

3.2.2 Data Sekunder

Merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung yaitu berupa jurnal, *website* Puskim PU dan SNI 03-1726-2002 untuk data nilai percepatan gempa pada area penelitian, *website* iris.edu untuk data riwayat gempa pada Tabel 2.7, 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 03-1726-2002



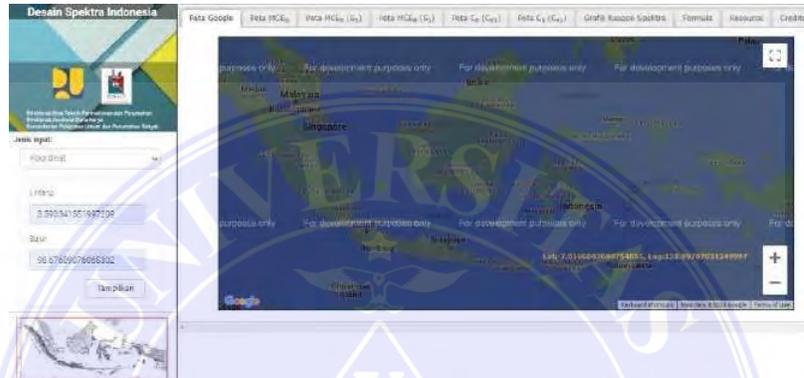
Gambar 1 Wilayah gempa Indonesia dengan percepatan puncak botuan dasar dengan periode ulang 500 tahun.

Gambar 14 SNI 03-1726-2002 Wilayah Medan, (BSN, 2002)

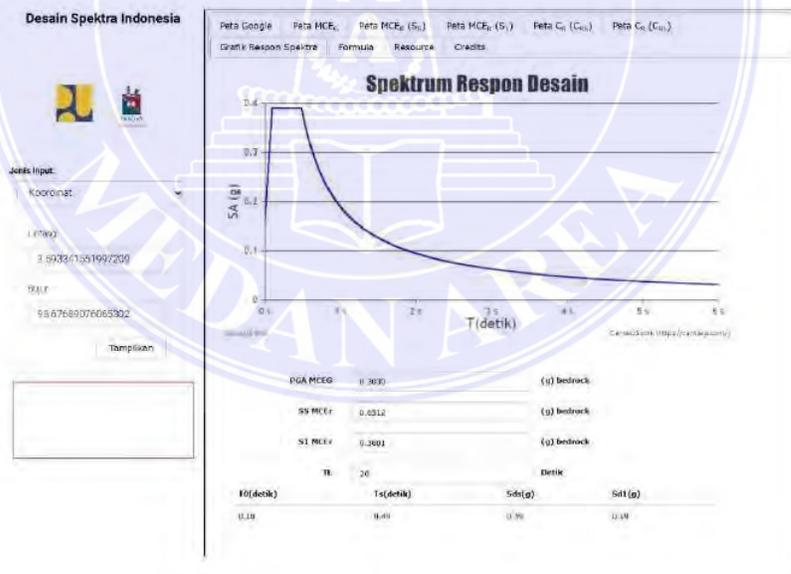
Berdasarkan Gambar 3.3 diketahui bahwa wilayah Kota Medan termasuk kedalam wilayah 3 dengan nilai percepatan gempa PGA yaitu 0,15 g. Angka tersebut sesuai dengan persyaratan terjadinya likuifaksi yaitu *peak ground acceleration* harus lebih dari 0,1 g.

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)

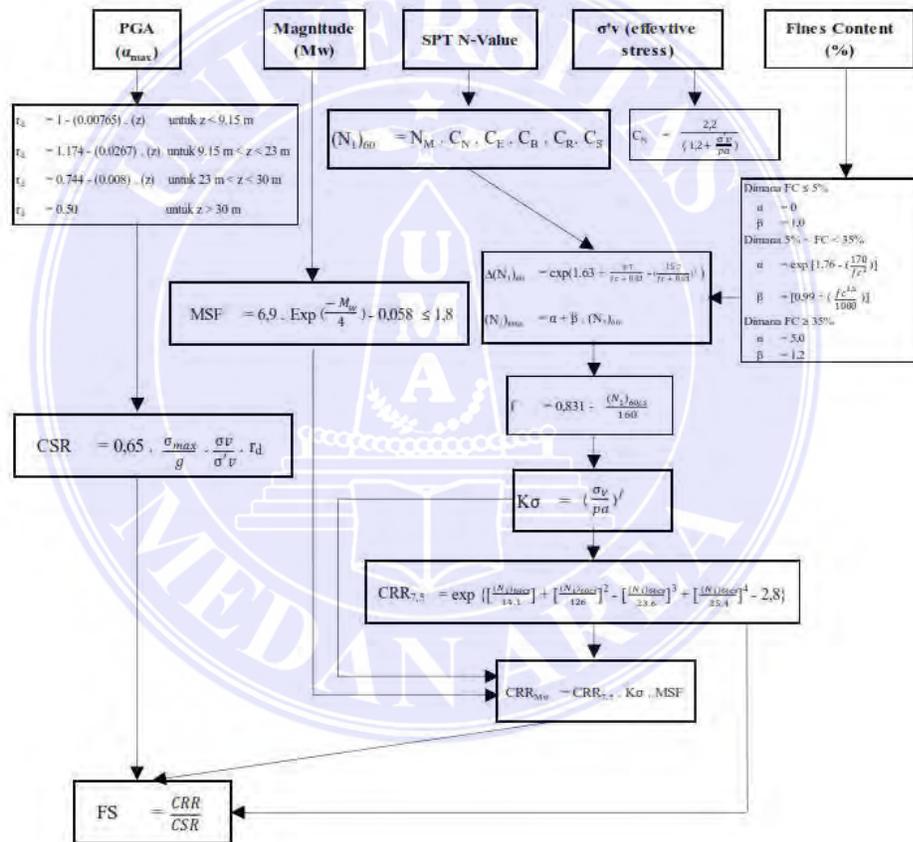


Gambar 16 Halaman Hasil Nilai Percepatan Gempa Dasar Puskim PU, (rsa.ciptakarya.pu.go.id)

Berdasarkan Gambar 3.5 dan Gambar 3.6, nilai PGA untuk area Proyek Reklamasi Belawan Phase-1 adalah 0,3030 g.

3.3 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 3.2 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 dan Idriss-Bowlanger, (Mase, 2018)

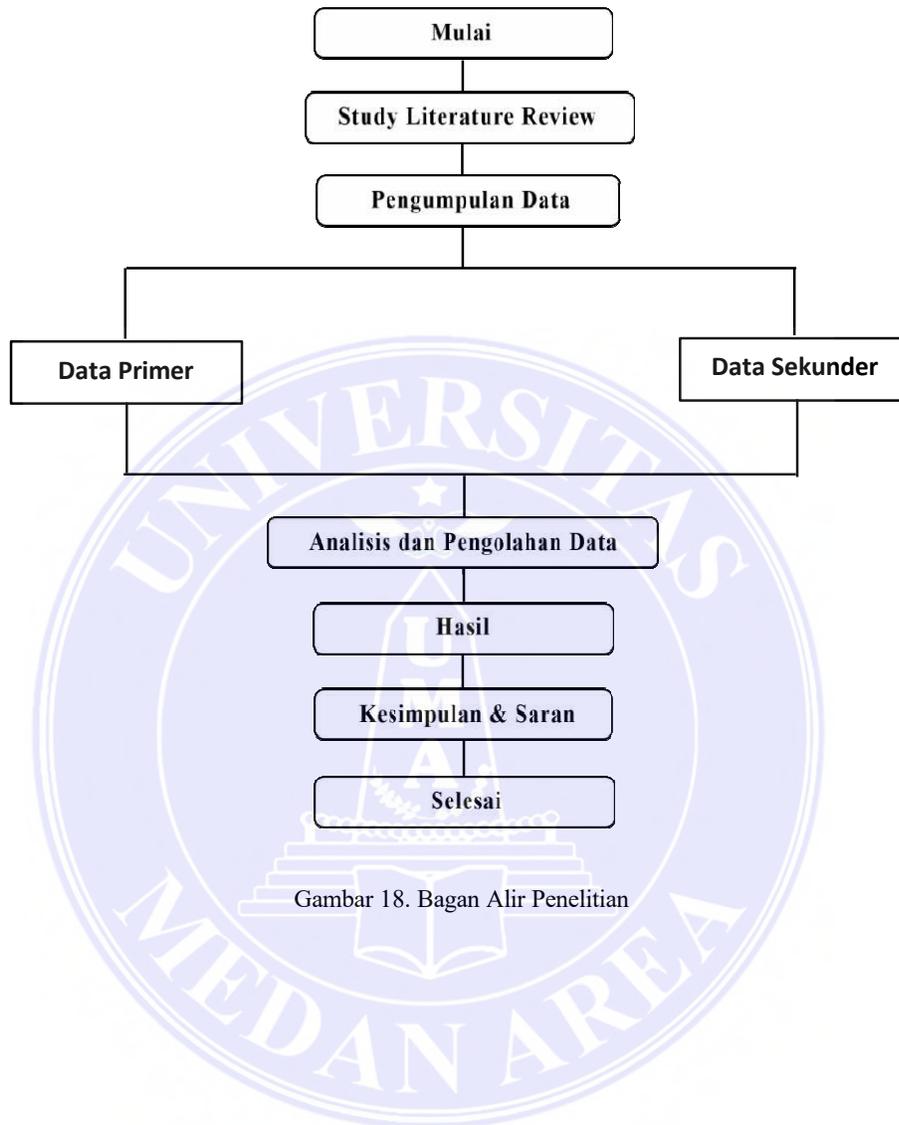
3.4 Tahapan Penelitian

Merupakan rancangan rencana peneltiaan 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 skripsi yang terkait dengan Analisa potensi likuifaksi.
2. Menentukan dan membuat daftar data-data yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian.
3. Melakukan pengumpulan data yang diperoleh dari perusahaan pelaksana Proyek Reklamasi Belawan Phase 1 yaitu PT. Waskita Karya (Persero) Tbk.
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.

3.5 Kerangka Berfikir



Gambar 18. Bagan Alir Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan pembahasan diatas, diperoleh bahwa lapisan yang mengalami likuifaksi menurut referensi SNI 03-1726-2002 didapatkan pada kedalaman 01.00 – 01.50 m pada BH.01 dengan magnitudo 7.0 SR, 8.0 SR, serta pada BH.02 dengan magnitudo 8.0 SR.

Menurut referensi Puskim PU didapatkan pada kedalaman 01.00 – 01.50 di BH.01 dengan magnitudo 6.0 SR, 6.5 SR, 7.0 SR, 8.0 SR, serta pada BH.02 juga pada kedalaman 01.00 – 01.50 dengan magnitudo yang sama.

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

5.2 Saran

Penelitian ini masih dapat dikembangkan lagi dengan metode yang berbeda sehingga bisa mendapatkan hasil yang lebih maksimal

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Geologi. 2019. Atlas Zona Likuefaksi Indonesia. Retrieved from www.bgl.esdm.go.id
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT SNI 4153:2008. Badan Standarisasi Nasional.
- Bowles, J.E. 2014. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Erlangga. Jakarta.
- California Department of Transportation. 2016. USCS Classification System. *Journal of Economic Literature*. <http://doi.org/10.1257/jel.54.4.1535>
- Das, B. M. 2017. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)* (Jilid II). Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M., 2011, *Principle Of Foundation Engineering*, Edisi 7, Cengage Learning, Stamford USA.
- Fernando, N., & Prihatiningsih, A. 2019. Analisis Potensi Cyclic Mobility Pada Tanah Kohesif. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(3), 77. <http://doi.org/10.24912/jmts.v2i3.5811>
- Hardiyatmo, H.C. 2002. *Mekanika Tanah I*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Idriss, I. M., & Boulanger, R. W. 2008. *Soil Liquefaction During Earthquakes* (2nd Editio). Earthquake Engineering Research Institute.
- Kusumawardani, R. 2016. Prosedur analisis liquefaction dengan menggunakan metode semi empiris, 1–10.
- Lonteng, C. V. D., Balamba, S., Monintja, S., & Sarajar, A. N. 2013. Analisis Potensi Likuifaksi di PT. PLN (Persero) UIP Sulmapa PLTU 2 Sulawesi Utara 2 X 25 MW Power Plan. *Jurnal Sipil Statik*, 1(11), 705–717.

- Mase, L. Z. 2018. Studi Keandalan Metode Analisis Likuiifikasi Menggunakan SPT Akibat Gempa 8,6 Mw, 12 September 2007 di Area Pesisir Kota Bengkulu. *Jurnal Teknik Sipil*, 25(1), 53.
<http://doi.org/10.5614/jts.2018.25.1.7>
- Rahmadika, A. 2019. *Analisis Potensi Likuiifikasi di Kota Medan Berdasarkan Data Hasil CPT dengan Metode Percepatan Gempa Donovan*. Universitas Brawijaya.
- Seed, H. B., and Idriss, I. M. 2011. *Ground Motion and Soil Liquefaction during Earthquakes*. Oakland.
- Yi, F. 2014. Estimating Soil Fines Contents from CPT Data. *Cpt' 14*, (April).
<http://doi.org/10.13140/RG.2.1.1973.7127>
- Youd T.L., Idriss I.M. 2001 : Liquefaction Resistance of Soils : Summary Report From The 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, April 2001, 297-313.
- Nasution, M. (2020). Smart-Design Instalasi Digester Biogas Skala Komunal Pesantren High Temperature. *AGREGAT*, 5(2).
- Nasution, M. (2022). Perbandingan Kuat Tekan Beton Menggunakan Agregat Halus (Pasir) Antara Sungai Tanjung Balai Dan Sungai Kisaran. *Jurnal Bidang Aplikasi Teknik Sipil dan Sains (BATAS)*, 1(2), 57-64.
- Kurniawan, F. (2007). Case study of concession contract in the public private partnership: financial clause investigation of Don Muang Tollway and second stage expressway in Thailand and Cipularang toll road in Indo (Doctoral dissertation, Petra Christian University).

- Siregar, C. R., & Iskandar, R. (2012). Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Secara Analitis Pada Proyek GBI Bethel Medan. *Jurnal Teknik Sipil USU*, 1(2).
- Dewi, S., Septarini, B., Prihandono, F. X., Herawati, F. A., & Hasibuan, S. (2021). REVITALISASI MUSEUM DOKTER YAP. *Jurnal Arsitektur KOMPOSISI*, 15(1), 27-34.
- Hasibuan, S. A. R. S., Kurniati, D., & Sari, M. P. (2021). Desain dan Analisis Flat Slab dengan Software Matlab. *Teknika*, 16(2), 88-96.
- Dayana, I., & Sari, M. P. (2023). Workshop Penulisan Buku Ajar Bagi Dosen Akademi Maritim Belawan Medan. *Center of Knowledge: Jurnal Pendidikan Dan Pengabdian Masyarakat*, 8-13.
- Hermansyah, H. Penggunaan Link Slab untuk Perbaikan Jembatan Komposit. *Jurnal Teknik Sipil Bandar Lampung*, 12(1), 1247-1257.
- Hermansyah, H. (2019). KAJIAN KERUSAKKAN PADA KONSTRUKSI BANGUNAN BASEMENT COOLING WATER PUMP (CWP) PLTU PEMBANGKITAN SUMATERA UTARA BAGIAN UTARA SEKTOR PEMBANGKITAN BELAWAN. *JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL*, 9(1), 13-21.
- Wahyuni, S., Akbar, A., Khaliq, A., & Akbar, A. (2023). WEB-BASED APPLICATION FOR SEA PRODUCTS TRADING TO INCREASE FISHERMEN'S INCOME IN SECANGGAN VILLAGE. *PROSIDING UNIVERSITAS DHARMAWANGSA*, 3(1), 736-745.

- Fahmi, A. M., Irwan, I., & Amsuardiman, A. (2021). Analisis Pengaruh Aspal Modifikasi Dengan Penambahan Abu Cangkang Sawit Terhadap Kinerja Perkerasan Aspal. *Journal Of Civil Engineering Building And Transportation*, 5(2), 64-68.
- Sari, M. P. (2018). Pembuatan dan Karakterisasi Genteng Polimer dari Lateks, Pasir dan Aspal dengan Polipropilena (PP) sebagai Perekat dengan Menggunakan Metode Hot Press (Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara).
- Sari, N. P. (2021). Analisis Kehilangan Gaya Prategang Girder Pada Jembatan Proyek Pembangunan Jalan Tol Tebing Tinggi-Inderapura (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area).
- Satria, H., Mungkin, M., & Nasution, M. (2021). Perancangan Teknologi Wastafel Cuci Tangan Otomatis Berbasis Proximity Infrared Switch Sensor Dalam Mendukung Pembelajaran Blended Learning Pada Kondisi Covid-19.
- Akbar, A. (2021). Collaborative spatial learning for improving public participation practice in Indonesia.

LAMPIRAN

PROJECT :		Proyek Perluasan Dermaga Container		CY DRILLSOLLAND			
Bore No. : BM-1		Location : BCT BELANAN, SUMATERA UTARA		Coordinate : 460050, 412657			
Elevation : +0.00		Date : 8-08-2016 s.d 14-08-2016		CWL :			
Bore Master : R200 P		Description by : Al Irwan		Check By : Surya Dharma ST			
Depth (m)	Type of Test	Symbol	Description of Layer	Standard Penetration Test (SPT)			
				No. of Blows		N Value	
				45 cm SPT			
0.00			Description : Top Soil - Pasir berkeras				
0.5			Color : Abu-abu gelap				
1.0			Texture : Tumpul				
1.5			Plasticity : Keras				
2.0			Depth : 0.00 m - 1.20 m				
2.5			Description : Lempung lempung pasir	1	1	1	1
3.0			Color : Abu-abu				
3.5			Texture : Tumpul				
4.0			Plasticity : Keras				
4.5			Depth : 1.20 m - 4.75 m	1	1	1	1
5.0			Description : Lempung lempung				
5.5			Color : Abu-abu				
6.0			Texture : Tumpul				
6.5			Plasticity : Keras	1	1	1	1
7.0			Depth : 4.75 m - 10.15 m				
7.5			Description : Lempung lempung liang				
8.0			Color : Abu-abu	1	2	1	2
8.5			Texture : Tumpul				
9.0			Plasticity : Keras				
9.5			Depth : 10.15 m - 14.50 m	1	2	1	2
10.0			Description : Pasir berkeras				
10.5			Color : Gelas kaku abum				
11.0			Texture : Keras				
11.5			Plasticity : Keras	1	2	1	2
12.0			Depth : 14.50 m - 19.60 m				
12.5			Description : Organik lunak liang				
13.0			Color : Abu-abu kehitam-hitan	1	1	1	1
13.5			Texture : lunak				
14.0			Plasticity : lunak				
14.5			Depth : 19.60 m - 21.60 m	3	2	2	4
15.0			Description : Lempung berpasir				
15.5			Color : Abu-abu	1	1	1	1
16.0			Texture : Keras ke lunak				
16.5			Plasticity : lunak				
17.0			Depth : 21.60 m - 28.65 m	1	2	2	4
17.5			Description : Lempung lempung				
18.0			Color : Abu-abu				
18.5			Texture : lunak				
19.0			Plasticity : lunak				
19.5			Depth : 28.65 m - 31.20 m	1	1	1	1
20.0			Description : Lempung lempung				
20.5			Color : Abu-abu				
21.0			Texture : lunak				
21.5			Plasticity : lunak				
22.0			Depth : 31.20 m - 37.20 m	1	1	1	1
22.5			Description : Pasir berkeras				
23.0			Color : Pasir berkeras				
23.5			Texture : Pasir berkeras				
24.0			Plasticity : Pasir berkeras				
24.5			Depth : 37.20 m - 42.20 m				
25.0			Description : Pasir berkeras				
25.5			Color : Pasir berkeras				
26.0			Texture : Pasir berkeras				
26.5			Plasticity : Pasir berkeras				
27.0			Depth : 42.20 m - 47.20 m				
27.5			Description : Pasir berkeras				
28.0			Color : Pasir berkeras				
28.5			Texture : Pasir berkeras				
29.0			Plasticity : Pasir berkeras				
29.5			Depth : 47.20 m - 52.20 m				
30.0			Description : Pasir berkeras				
30.5			Color : Pasir berkeras				
31.0			Texture : Pasir berkeras				
31.5			Plasticity : Pasir berkeras				
32.0			Depth : 52.20 m - 57.20 m				
32.5			Description : Pasir berkeras				
33.0			Color : Pasir berkeras				
33.5			Texture : Pasir berkeras				
34.0			Plasticity : Pasir berkeras				
34.5			Depth : 57.20 m - 62.20 m				
35.0			Description : Pasir berkeras				
35.5			Color : Pasir berkeras				
36.0			Texture : Pasir berkeras				
36.5			Plasticity : Pasir berkeras				
37.0			Depth : 62.20 m - 67.20 m				
37.5			Description : Pasir berkeras				
38.0			Color : Pasir berkeras				
38.5			Texture : Pasir berkeras				
39.0			Plasticity : Pasir berkeras				
39.5			Depth : 67.20 m - 72.20 m				
40.0			Description : Pasir berkeras				
40.5			Color : Pasir berkeras				
41.0			Texture : Pasir berkeras				
41.5			Plasticity : Pasir berkeras				
42.0			Depth : 72.20 m - 77.20 m				
42.5			Description : Pasir berkeras				
43.0			Color : Pasir berkeras				
43.5			Texture : Pasir berkeras				
44.0			Plasticity : Pasir berkeras				
44.5			Depth : 77.20 m - 82.20 m				
45.0			Description : Pasir berkeras				
45.5			Color : Pasir berkeras				
46.0			Texture : Pasir berkeras				
46.5			Plasticity : Pasir berkeras				
47.0			Depth : 82.20 m - 87.20 m				
47.5			Description : Pasir berkeras				
48.0			Color : Pasir berkeras				
48.5			Texture : Pasir berkeras				
49.0			Plasticity : Pasir berkeras				
49.5			Depth : 87.20 m - 92.20 m				
50.0			Description : Pasir berkeras				
50.5			Color : Pasir berkeras				
51.0			Texture : Pasir berkeras				
51.5			Plasticity : Pasir berkeras				
52.0			Depth : 92.20 m - 97.20 m				
52.5			Description : Pasir berkeras				
53.0			Color : Pasir berkeras				
53.5			Texture : Pasir berkeras				
54.0			Plasticity : Pasir berkeras				
54.5			Depth : 97.20 m - 102.20 m				
55.0			Description : Pasir berkeras				
55.5			Color : Pasir berkeras				
56.0			Texture : Pasir berkeras				
56.5			Plasticity : Pasir berkeras				
57.0			Depth : 102.20 m - 107.20 m				
57.5			Description : Pasir berkeras				
58.0			Color : Pasir berkeras				
58.5			Texture : Pasir berkeras				
59.0			Plasticity : Pasir berkeras				
59.5			Depth : 107.20 m - 112.20 m				
60.0			Description : Pasir berkeras				
60.5			Color : Pasir berkeras				
61.0			Texture : Pasir berkeras				
61.5			Plasticity : Pasir berkeras				
62.0			Depth : 112.20 m - 117.20 m				
62.5			Description : Pasir berkeras				
63.0			Color : Pasir berkeras				
63.5			Texture : Pasir berkeras				
64.0			Plasticity : Pasir berkeras				
64.5			Depth : 117.20 m - 122.20 m				
65.0			Description : Pasir berkeras				
65.5			Color : Pasir berkeras				
66.0			Texture : Pasir berkeras				
66.5			Plasticity : Pasir berkeras				
67.0			Depth : 122.20 m - 127.20 m				
67.5			Description : Pasir berkeras				
68.0			Color : Pasir berkeras				
68.5			Texture : Pasir berkeras				
69.0			Plasticity : Pasir berkeras				
69.5			Depth : 127.20 m - 132.20 m				
70.0			Description : Pasir berkeras				
70.5			Color : Pasir berkeras				
71.0			Texture : Pasir berkeras				
71.5			Plasticity : Pasir berkeras				
72.0			Depth : 132.20 m - 137.20 m				
72.5			Description : Pasir berkeras				
73.0			Color : Pasir berkeras				
73.5			Texture : Pasir berkeras				
74.0			Plasticity : Pasir berkeras				
74.5			Depth : 137.20 m - 142.20 m				
75.0			Description : Pasir berkeras				
75.5			Color : Pasir berkeras				
76.0			Texture : Pasir berkeras				
76.5			Plasticity : Pasir berkeras				
77.0			Depth : 142.20 m - 147.20 m				
77.5			Description : Pasir berkeras				
78.0			Color : Pasir berkeras				
78.5			Texture : Pasir berkeras				
79.0			Plasticity : Pasir berkeras				
79.5			Depth : 147.20 m - 152.20 m				
80.0			Description : Pasir berkeras				
80.5			Color : Pasir berkeras				
81.0			Texture : Pasir berkeras				
81.5			Plasticity : Pasir berkeras				
82.0			Depth : 152.20 m - 157.20 m				
82.5			Description : Pasir berkeras				
83.0			Color : Pasir berkeras				
83.5			Texture : Pasir berkeras				
84.0			Plasticity : Pasir berkeras				
84.5			Depth : 157.20 m - 162.20 m				
85.0			Description : Pasir berkeras				
85.5			Color : Pasir berkeras				
86.0			Texture : Pasir berkeras				
86.5			Plasticity : Pasir berkeras				
87.0			Depth : 162.20 m - 167.20 m				
87.5			Description : Pasir berkeras				
88.0			Color : Pasir berkeras				
88.5			Texture : Pasir berkeras				
89.0			Plasticity : Pasir berkeras				
89.5			Depth : 167.20 m - 172.20 m				
90.0			Description : Pasir berkeras				
90.5			Color : Pasir berkeras				
91.0			Texture : Pasir berkeras				
91.5			Plasticity : Pasir berkeras				
92.0			Depth : 172.20 m - 177.20 m				
92.5			Description : Pasir berkeras				
93.0			Color : Pasir berkeras				
93.5			Texture : Pasir berkeras				
94.0			Plasticity : Pasir berkeras				
94.5			Depth : 177.20 m - 182.20 m				

PROJECT:		Proyek Perluasan Dermaga Container		CV. DRILLSOLLAND			
Bore No.:	BH - 1 (lanjutan)	BORE LOG					
Location:	BCT BELARAH, SUMATERA UTARA						
Coordinate:	468958 ; 419857						
Elevation:	+0,00						
Date:	8-08-2016 s/d 14-08-2016						
SWL:	-						
Bore Master:	Kinto P						
Description by:	All Iman						
Check By:	Surya Darma ST						
Depth (m)	Type of Test	Symbol	Description of Layer	Standard Penetration Test (SPT)			
				No. of Blows		N Value	
				45 cm SPT		N Value	
0.0							
0.5							
1.0							
1.5							
2.0							
2.5							
3.0							
3.5							
4.0							
4.5							
5.0							
5.5							
6.0							
6.5							
7.0							
7.5							
8.0							
8.5							
9.0							
9.5							
10.0							
10.5							
11.0							
11.5							
12.0							
12.5							
13.0							
13.5							
14.0							
14.5							
15.0							
15.5							
16.0							
16.5							
17.0							
17.5							
18.0							
18.5							
19.0							
19.5							
20.0							
20.5							
21.0							
21.5							
22.0							
22.5							
23.0							
23.5							
24.0							
24.5							
25.0							
25.5							
26.0							
26.5							
27.0							
27.5							
28.0							
28.5							
29.0							
29.5							
30.0							
30.5							
31.0							
31.5							
32.0							
32.5							
33.0							
33.5							
34.0							
34.5							
35.0							
35.5							
36.0							
36.5							
37.0							
37.5							
38.0							
38.5							
39.0							
39.5							
40.0							
40.5							
41.0							
41.5							
42.0							
42.5							
43.0							
43.5							
44.0							
44.5							
45.0							
45.5							
46.0							
46.5							
47.0							
47.5							
48.0							
48.5							
49.0							
49.5							
50.0							
50.5							
51.0							
51.5							
52.0							
52.5							
53.0							
53.5							
54.0							
54.5							
55.0							
55.5							
56.0							
56.5							
57.0							
57.5							
58.0							
58.5							
59.0							
59.5							
60.0							
60.5							
61.0							
61.5							
62.0							
62.5							
63.0							
63.5							
64.0							
64.5							
65.0							
65.5							
66.0							
66.5							
67.0							
67.5							
68.0							
68.5							
69.0							
69.5							
70.0							
70.5							
71.0							
71.5							
72.0							
72.5							
73.0							
73.5							
74.0							
74.5							
75.0							
75.5							
76.0							
76.5							
77.0							
77.5							
78.0							
78.5							
79.0							
79.5							
80.0							
80.5							
81.0							
81.5							
82.0							
82.5							
83.0							
83.5							
84.0							
84.5							
85.0							
85.5							
86.0							
86.5							
87.0							
87.5							
88.0							
88.5							
89.0							
89.5							
90.0							
90.5							
91.0							
91.5							
92.0							
92.5							
93.0							
93.5							
94.0							
94.5							
95.0							
95.5							
96.0							
96.5							
97.0							
97.5							
98.0							
98.5							
99.0							
99.5							
100.0							