

**ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA
SPT PADA PROYEK PEMBANGUNAN MENARA BRI
KOTA MEDAN**

SKRIPSI

OLEH:

**RENI ANGGRAINI
188110044**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
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 15/6/23

Access From (repository.uma.ac.id)15/6/23

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA
SPT PADA PROYEK PEMBANGUNAN MENARA BRI
KOTA MEDAN

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Dalam
Ujian Sidang Sarjana Teknik Sipil Strata Satu
Universitas Medan Area

Disusun oleh:

RENI ANGGRAINI

188110044

Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing


Rudianto Surbakti, S.T., M.T.

NIDN: 0104048702

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Rahmad Syah, S.Kom., M.Kom.

NIDN: 0105058804

Ketua Program Studi



Hermansyah, S.T., M.T.

NIDN: 0106088004

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 15/6/23

Access From (repository.uma.ac.id)15/6/23

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Reni Anggraini

NPM : 188110044

Fakultas : Teknik

Jurusan : Teknik Sipil

Judul : Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data SPT Pada
Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi ini merupakan karya saya sendiri. Apabila terdapat karya orang lain yang saya kutip, maka saya akan mencantumkan sumber secara jelas. Jika dikemudian hari ditemukan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi dengan aturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Medan, 04 Mei 2023

Yang membuat pernyataan,



Reni Anggraini

NPM: 188110044

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Reni Anggraini

NPM : 188110044

Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Sipil

Drmi perkembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Non Eksklusif (*Non-exclusive Royalti-Free Right*)** atas skripsi saya yang berjudul : “Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data SPT Pada Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan” berupa *hard copy* dan *soft copy* untuk menyimpan, mengalihkan dalam bentuk media lain, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data, mendistribusikan secara terbatas di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta izin dari saya maupun memberikan royalti kepada saya selama mencantumkan nama saya sebagai penulis.

Demikian surat pernyataan ini saya buat agar dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Medan, 04 Mei 2023

Yang membuat pernyataan,



Reni Anggraini

NPM: 188110044

RIWAYAT HIDUP

Reni Anggraini, dilahirkan di Sumatera Utara, Kabupaten Deli Serdang, Kec. Sei Semayang pada tanggal 27 Maret 2001. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang merupakan pasangan dari Bapak R. Basuki dan Ibu Rika. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SDN 101735 yang beralamat di Jl. Kongsu, Kec. Sei Semayang, Deli Serdang selama \pm 4 tahun, yang mana kemudian dilanjutkan dengan berpindah sekolah ke SDN 74 Kota Jambi hingga selesai.

Pada tahun 2012 penulis kemudian melanjutkan pendidikan di bangku sekolah menengah yaitu SMP N 14 Kota Jambi yang terletak di Kota Jambi dan lulus pada tahun 2015, kemudian dilanjutkan dengan menempuh pendidikan sekolah menengah yaitu SMA Negeri 6 Kota Jambi dan lulus pada tahun 2018. Di tahun tersebut pula, penulis melanjutkan pendidikan Strata Satu (S-1) di Universitas Medan Area yang terletak di Kota Medan, Sumatera Utara dan terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi yang berjudul **“ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA SPT PADA PROYEK PEMBANGUNAN MENARA BRI KOTA MEDAN”** dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar **Sarjana Teknik di Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area.**

Skripsi ini dapat penulis selesaikan berkat bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

- a) Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc. selaku Rektor Universitas Medan Area
- b) Bapak Dr. Rahmad Syah, S.Kom., M.Kom. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area
- c) Bapak Hermansyah, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area
- d) Bapak Rudianto Surbakti, S.T., M.T. selaku Pembimbing Skripsi saya yang turut membantu saya dan memberikan saran yang bermanfaat bagi saya
- e) Ibu Ir. Nurmaidah, M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis
- f) Seluruh Staf Pengajar atau Dosen dan Karyawan di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area

- g) Orangtua Penulis yang selalu mendoakan dan memberikan semangat serta dukungan dalam menyelesaikan skripsi
- h) Nenek dan Keluarga Besar Penulis di Medan yang telah memberikan dukungan kepada saya selama masa kuliah
- i) Rekan-rekan kelas pagi Teknik Sipil Universitas Medan Area Stambuk 2018 yang telah memberikan dukungan dan semangat selama masa penelitian ini berlangsung.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Terlepas dari semua kekurangan yang ada, penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi para pembaca. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Medan, 04 Mei 2023

Penulis



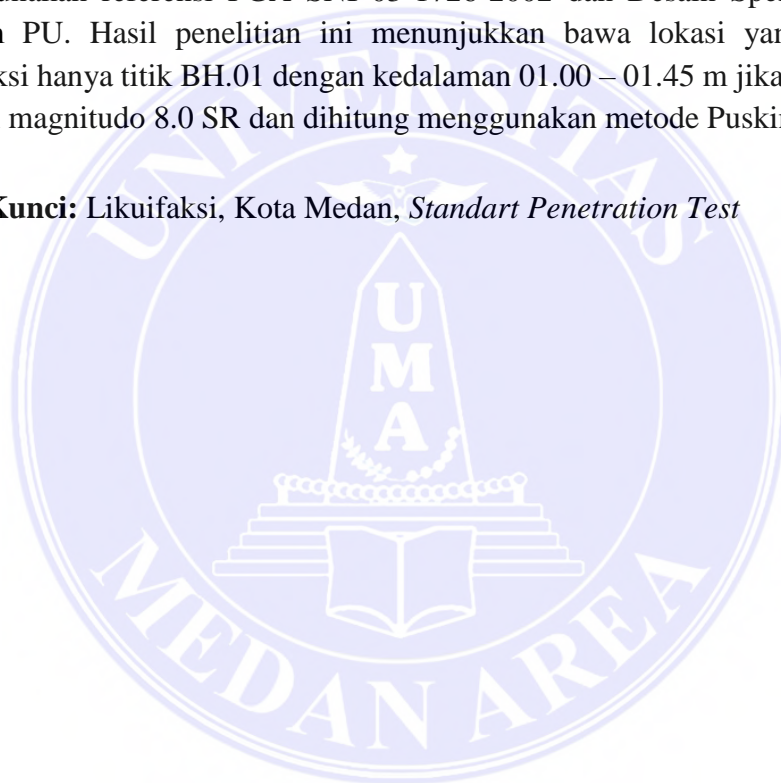
Reni Anggraini

NPM: 188110044

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara dengan letak geografis yang berada di antara pertemuan ketiga lempeng tektonik, yaitu lempeng Lempeng Pasifik, Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia. Berdasarkan keadaan tersebut, maka Indonesia termasuk kedalam kategori negara yang rentan dengan bencana alam, salah satunya adalah likuifaksi. Likuifaksi sendiri merupakan proses berubahnya partikel tanah dari padat hingga menjadi cair. Pada penelitian ini dilakukan analisis potensi likuifaksi pada Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan pada titik BH.01, BH.02, dan BH.03 dengan menggunakan 2 (dua) metode perhitungan menggunakan referensi PGA SNI 03-1726-2002 dan Desain Spektra Indonesia Puskim PU. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa lokasi yang mengalami likuifaksi hanya titik BH.01 dengan kedalaman 01.00 – 01.45 m jika terjadi gempa dengan magnitudo 8.0 SR dan dihitung menggunakan metode PuskimPU.

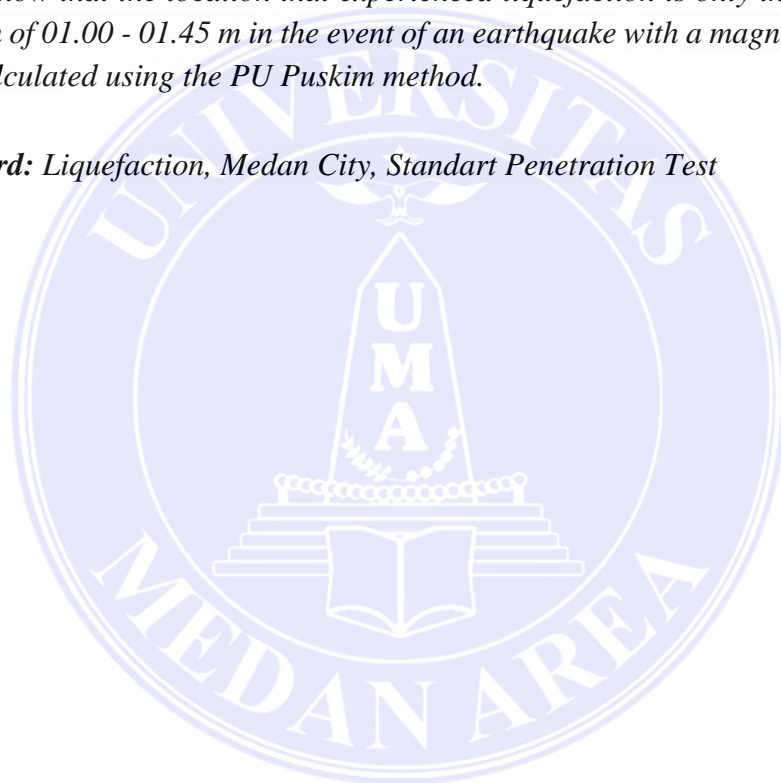
Kata Kunci: Likuifaksi, Kota Medan, *Standart Penetration Test*



ABSTRACT

Indonesia is a country with a geographical location between the three tectonic plates, the Pacific Plate, the Eurasian Plate and the Indo-Australian Plate. Based on these conditions, Indonesia falls into the category of countries vulnerable to natural disasters, one of which is liquefaction. Liquefaction is the process of changing soil particles from solid to liquid. In this study, a liquefaction potential analysis was conducted on the Medan City BRI Tower Development Project at BH.01, BH.02, and BH.03 using 2 (two) calculation methods using reference PGA SNI 03-1726-2002 and Design Spectra Indonesia Puskim PU. The results of this study show that the location that experienced liquefaction is only in a BH.01 with a depth of 01.00 - 01.45 m in the event of an earthquake with a magnitude of 8.0 SR and calculated using the PU Puskim method.

Keyword: *Liquefaction, Medan City, Standart Penetration Test*



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

HALAMAN PERNYATAAN

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

RIWAYAT HIDUP

KATA PENGANTAR..... i

ABSTRAK iii

ABSTRACT iv

DAFTAR ISI.....v

DAFTAR GAMBAR.....x

DAFTAR TABEL xii

DAFTAR NOTASI..... xvii

BAB I PENDAHULUAN.....1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah3

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....3

1.4 Manfaat Penelitian3

1.5 Batasan Masalah4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA5

2.1 Penelitian Terdahulu5

2.2 Tanah.....6

2.2.1 USDA *Texture Triangle*7

2.2.2 USCS (*Unified Soil Classification System*)11

2.3 Gempa Bumi13

2.3.1	Jenis-Jenis Sesar (Patahan).....	13
2.3.2	Jenis-Jenis Gempa Bumi	15
2.3.3	Besar Kekuatan Gempa	16
2.3.4	Riwayat Gempa Bumi di Sumatera Utara	19
2.4	Likuifaksi	20
2.4.1	Syarat Terjadinya Likuifaksi	21
2.4.2	Jenis-Jenis Likuifaksi	21
2.4.3	Metode Evaluasi Potensi Likuifaksi.....	23
2.4.4	Proses Terjadinya Likuifaksi.....	23
2.4.5	Dampak Terjadinya Likuifaksi.....	24
2.4.6	Histori Kasus Likufaksi di Indonesia	27
2.5	Parameter Identifikasi Potensi Likuifaksi	30
2.5.1	Tegangan Tanah	30
2.5.2	Nilai N-SPT, $(N_1)_{60}$ dan $(N_1)_{60cs}$	32
2.5.3	Percepatan Gempa Dasar (a_{max})	37
2.5.4	<i>Stress Reduction Factor</i> (r_d)	38
2.5.5	<i>Cyclic Stress Ratio</i> (CSR)	39
2.5.6	<i>Cyclic Resistance Ratio</i> (CRR)	40
2.5.7	<i>Factor of Safety</i> (FS)	43
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	45
3.1	Lokasi Penelitian.....	45
3.2	Teknik Pengumpulan Data.....	45
3.2.1	Data Primer.....	45
3.2.2	Data Sekunder	47

3.3	Evaluasi Potensi Likuifaksi Pada BH.01, BH.02, dan BH.03	52
3.4	Alur Perhitungan	53
3.5	Tahapan Penelitian.....	54
3.6	Kerangka Berpikir.....	55
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	56
4.1	Perhitungan Tegangan Tanah	56
4.1.1	Perhitungan Tegangan Tanah Pada BH.01.....	56
4.1.2	Perhitungan Tegangan Tanah Pada BH.02.....	64
4.1.3	Perhitungan Tegangan Tanah Pada BH.03.....	72
4.2	Perhitungan Nilai $(N_1)_{60}$, dan $(N_1)_{60cs}$	79
4.2.1	Perhitungan $(N_1)_{60}$ dan $(N_1)_{60cs}$ Pada BH.01	79
4.2.2	Perhitungan $(N_1)_{60}$ dan $(N_1)_{60cs}$ Pada BH.02	82
4.2.3	Perhitungan $(N_1)_{60}$ dan $(N_1)_{60cs}$ Pada BH.03	86
4.3	Perhitungan Nilai Percepatan Gempa Dasar (α_{max}).....	91
4.3.1	Berdasarkan SNI 03-1726-2002	91
4.3.2	Berdasarkan Desain Spektra Indonesia Puskim PU	91
4.4	Perhitungan Stress Reduction Factor (rd)	92
4.4.1	Perhitungan <i>Stress Reduction Factor</i> Pada BH.01	92
4.4.2	Perhitungan <i>Stress Reduction Factor</i> Pada BH.02.....	94
4.4.3	Perhitungan <i>Stress Reduction Factor</i> Pada BH.03.....	95
4.5	Perhitungan CSR Berdasarkan SNI 03-1726-2002.....	97
4.5.1	Perhitungan CSR Pada BH.01	97
4.5.2	Perhitungan CSR Pada BH.02.....	100
4.5.3	Perhitungan CSR Pada BH.03	102

4.6	Perhitungan CSR Berdasarkan Desain Spektra	
	Indonesia PuskimPU	103
4.6.1	Perhitungan CSR Pada BH.01	103
4.6.2	Perhitungan CSR Pada BH.02	106
4.6.3	Perhitungan CSR Pada BH.03	108
4.7	Perhitungan <i>Cyclic Resistance Ratio</i>	109
4.7.1	Perhitungan CRR_6 , CRR_7 , $CRR_{7.5}$ dan CRR_8 Pada	
	BH.01	109
4.7.2	Perhitungan CRR_6 , CRR_7 , $CRR_{7.5}$ dan CRR_8 Pada	
	BH.02	118
4.7.3	Perhitungan CRR_6 , CRR_7 , $CRR_{7.5}$ dan CRR_8 Pada	
	BH.03	126
4.8	Perhitungan <i>Factor of Safety</i> (FS) Berdasarkan	
	SNI 03-1726-2002	133
4.8.1	Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Pada BH.01	134
4.8.2	Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Pada BH.02	137
4.8.3	Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Pada BH.03	142
4.9	Perhitungan <i>Factor of Safety</i> (FS) Berdasarkan Desain	
	Spektra Indonesia PuskimPU	146
4.9.1	Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Pada BH.01	146
4.9.2	Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Pada BH.02	150
4.9.3	Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Pada BH.03	154
4.10	Pembahasan Hasil Perhitungan	158
4.10.1	Pembahasan Hasil Perhitungan BH.01	158

4.10.2 Pembahasan Hasil Perhitungan BH.02.....	162
4.10.3 Pembahasan Hasil Perhitungan BH.03.....	166
4.10.4 Pembahasan Secara Umum	170
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	172
5.1 Kesimpulan	172
5.2 Saran	172
DAFTAR PUSTAKA	173
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>The Soil Texture Triangle</i>	8
Gambar 2.2 Tekstur Tanah <i>Clay, Loam, Sand, dan Silt</i>	8
Gambar 2.3 <i>Soil Texture Triangle</i>	10
Gambar 2.4 <i>Normal Fault</i>	14
Gambar 2.5 <i>Reverse Fault</i>	14
Gambar 2.6 <i>Strike Fault</i>	15
Gambar 2.7 Tanah Dalam Keadaan Normal, Likuifaksi dan Setelah Likuifaksi ..	24
Gambar 2.8 Jarak Kab. Donggala ke Kab. Sigi	28
Gambar 2.9 Grafik Korelasi <i>Measured Fines Content</i> dengan <i>Soil Behaviour Type Index</i>	35
Gambar 2.10 Hubungan antara <i>Measured Fines Content (%)</i> , <i>Soil Behaviour Index (Ic)</i> dan Klasifikasi Tanah USCS	36
Gambar 2.11 Halaman Puskim Desain Spektra Indonesia	37
Gambar 2.12 Percepatan Gempa Dasar SNI 03-1726-2002	38
Gambar 2.13 Kurva Hubungan antara N-SPT <i>Clean Sand</i> dengan Gempa Bumi Magnitudo 7.5 SR	42
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian.....	45
Gambar 3.2 Pondasi <i>Bore Pile</i>	46
Gambar 3.3 <i>Drilling Rig ZR160A-1</i>	46
Gambar 3.4 SNI 03-1726-2002 Wilayah Medan.....	47
Gambar 3.5 Halaman Depan <i>Web</i> Desain Spektra Indonesia Puskim PU.....	48
Gambar 3.6 Halaman Hasil Nilai Percepatan Gempa Dasar Puskim PU	48

Gambar 4.1 Hasil Respon Spektra Lokai Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan.....	91
Gambar 4.2 <i>Factor of Safety</i> Pada BH.01 Berdasarkan SNI 03-1726-2002.....	159
Gambar 4.3 <i>Factor of Safety</i> Pada BH.01 Berdasarkan PuskimPU	160
Gambar 4.4 <i>Factor of Safety</i> Pada BH.02 Berdasarkan SNI 03-1726-2002.....	163
Gambar 4.5 <i>Factor of Safety</i> Pada BH.02 Berdasarkan PuskimPU	164
Gambar 4.6 <i>Factor of Safety</i> Pada BH.03 Berdasarkan SNI 03-1726-2002.....	167
Gambar 4.7 <i>Factor of Safety</i> Pada BH.03 Berdasarkan PuskimPU	168



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Simbol Klasifikasi USCS.....	11
Tabel 2.2 Tanah Berbutir Kasar (<i>Coarse Grained Soils</i>)	11
Tabel 2.3 Tanah Berbutir Halus (<i>Fine Grained Soils</i>).....	12
Tabel 2.4 Jenis Gempa Tektonik Berdasarkan Kedalaman Gempa.....	16
Tabel 2.5 Skala Intensitas Gempa Bumi BMKG.....	17
Tabel 2.6 <i>Magnitude</i> Gempa dan Pengaruh Gempa	18
Tabel 2.7 Data Gempa Bumi di Sumatera Utara dalam 50 Tahun Terakhir.....	20
Tabel 2.8 Perbedaan <i>Cyclic Liquefaction</i> dan <i>Flow Liquefaction</i>	22
Tabel 2.9 Histori Kejadian Likuifaksi di Pulau Sumatera	29
Tabel 2.10 Nilai Korelasi Parameter Tanah dengan N-SPT untuk Jenis Tanah Pasir (<i>Sand</i>) dan Lempung (<i>Clays</i>)	31
Tabel 2.11 Faktor Koreksi Uji SPT (Skempton)	33
Tabel 2.12 Tabel Nilai Korelasi Hubungan antara <i>Soil Behaviour Type Index</i> (I_c), <i>Fines Content</i> (%) dan Jenis Tanah Klasifikasi USCS.....	36
Tabel 3.1 Spesifikasi Alat ZR160A-1	47
Tabel 3.2 <i>Drilling Log</i> BH.01	49
Tabel 3.3 <i>Drilling Log</i> BH.02.....	50
Tabel 3.4 <i>Drilling Log</i> BH.03	51
Tabel 3.5 Evaluasi Potensi Likuifaksi Pada BH.01, BH.02, dan BH.03	52
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Interpolasi Berat Isi Tanah Pada BH.01	58
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Tegangan Vertikal Total Tanah, Tekanan Air Pori Tanah, dan Tegangan Vertikal Efektif Tanah Pada BH.01	64
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Interpolasi Berat Isi Tanah Pada BH.02.....	66

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Tegangan Vertikal Total Tanah, Tekanan Air Pori Tanah, dan Tegangan Vertikal Efektif Tanah Pada BH.02	72
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Interpolasi Berat Isi Tanah Pada BH.03	74
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Tegangan Vertikal Total Tanah, Tekanan Air Pori Tanah, dan Tegangan Vertikal Efektif Tanah Pada BH.03	78
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Nilai $(N_1)_{60}$ Pada BH.01	80
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Nilai $(N_1)_{60cs}$ Pada BH.01	82
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Nilai $(N_1)_{60}$ Pada BH.02	84
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Nilai $(N_1)_{60cs}$ Pada BH.02	86
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Nilai $(N_1)_{60}$ Pada BH.03	88
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Nilai $(N_1)_{60cs}$ Pada BH.03	90
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan <i>Stress Reduction Factor</i> pada BH.01	93
Tabel 4.14 Hasil Perhitungan <i>Stress Reduction Factor</i> pada BH.02	95
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan <i>Stress Reduction Factor</i> pada BH.03	97
Tabel 4.16 Hasil Perhitungan CSR Pada BH.01 Berdasarkan SNI 03-1726-2002	99
Tabel 4.17 Hasil Perhitungan CSR Pada BH.02 Berdasarkan SNI 03-1726-2002	101
Tabel 4.18 Hasil Perhitungan CSR Pada BH.03 Berdasarkan SNI 03-1726-2002	103
Tabel 4.19 Hasil Perhitungan CSR Pada BH.01 Berdasarkan Desain Spektra Indonesia PuskimPU	105
Tabel 4.20 Hasil Perhitungan CSR Pada BH.02 Berdasarkan Desain Spektra Indonesia PuskimPU	107

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan CSR Pada BH.03 Berdasarkan Desain Spektra Indonesia PuskimPU.....	109
Tabel 4.22 Hasil Perhitungan $CRR_{7,5}$ Pada BH.01	111
Tabel 4.23 Hasil Perhitungan CRR_6 Pada BH.01	114
Tabel 4.24 Hasil Perhitungan CRR_7 Pada BH.01	116
Tabel 4.25 Hasil Perhitungan CRR_8 Pada BH.01	118
Tabel 4.26 Hasil Perhitungan $CRR_{7,5}$ Pada BH.02	119
Tabel 4.27 Hasil Perhitungan CRR_6 Pada BH.02	121
Tabel 4.28 Hasil Perhitungan CRR_7 Pada BH.02	123
Tabel 4.29 Hasil Perhitungan CRR_8 Pada BH.02	125
Tabel 4.30 Hasil Perhitungan $CRR_{7,5}$ Pada BH.03	126
Tabel 4.31 Hasil Perhitungan CRR_6 Pada BH.03	129
Tabel 4.32 Hasil Perhitungan CRR_7 Pada BH.03	131
Tabel 4.33 Hasil Perhitungan CRR_8 Pada BH.03	133
Tabel 4.34 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 6.0 SR Pada BH.01	134
Tabel 4.35 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 7.0 SR Pada BH.01	135
Tabel 4.36 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 7.5 SR Pada BH.01	136
Tabel 4.37 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 8.0 SR Pada BH.01	137
Tabel 4.38 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 6.0 SR Pada BH.02	138

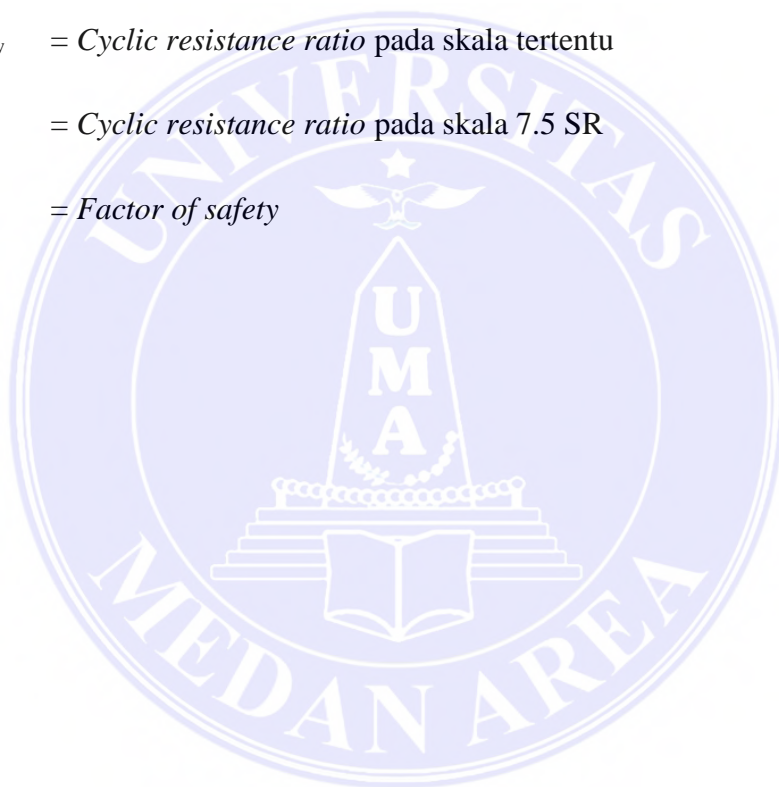
Tabel 4.39 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 7.0 SR	
Pada BH.02	139
Tabel 4.40 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 7.5 SR	
Pada BH.02	140
Tabel 4.41 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 8.0 SR	
Pada BH.02	141
Tabel 4.42 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 6.0 SR	
Pada BH.03	142
Tabel 4.43 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 7.0 SR	
Pada BH.03	143
Tabel 4.44 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 7.5 SR	
Pada BH.03	144
Tabel 4.45 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 8.0 SR	
Pada BH.03	145
Tabel 4.46 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 6.0 SR	
Pada BH.01	146
Tabel 4.47 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 7.0 SR	
Pada BH.01	147
Tabel 4.48 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 7.5 SR	
Pada BH.01	148
Tabel 4.49 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 8.0 SR	
Pada BH.01	149
Tabel 4.50 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 6.0 SR	
Pada BH.02	150

Tabel 4.51 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 7.0 SR	
Pada BH.02	151
Tabel 4.52 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 7.5 SR	
Pada BH.02	152
Tabel 4.53 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 8.0 SR	
Pada BH.02	153
Tabel 4.54 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 6.0 SR	
Pada BH.03	154
Tabel 4.55 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 7.0 SR	
Pada BH.03	155
Tabel 4.56 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 7.5 SR	
Pada BH.03	156
Tabel 4.57 Hasil Perhitungan <i>Factor of Safety</i> Dengan Magnitudo 8.0 SR	
Pada BH.03	157
Tabel 4.58 Ringkasan Hasil Perhitungan Analisis Potensi Likuifaksi Pada Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan	170

DAFTAR NOTASI

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

MSF	= <i>Magnitude scaling factors</i>
M_w	= Magnitudo gempa
SR	= Skala richter
$K\sigma$	= Faktor koreksi <i>overburden</i>
f	= Faktor kerapatan relatif tanah
CRR	= Kemampuan tanah untuk menahan likuifaksi
CRR_{M_w}	= <i>Cyclic resistance ratio</i> pada skala tertentu
$CRR_{7,5}$	= <i>Cyclic resistance ratio</i> pada skala 7.5 SR
FS	= <i>Factor of safety</i>



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara geografis, Indonesia merupakan wilayah yang terletak di antara pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu Lempeng Pasifik, Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia. Atas kondisi tersebut, Indonesia kemudian mendapat julukan sebagai negara yang berada di lingkaran *ring of fire* atau barisan gunung api sehingga menyebabkan Indonesia menjadi rawan terhadap bencana alam gempa bumi. Menurut *United States Geological Survey*, dari 20 peristiwa gempa bumi terbesar yang terjadi di dunia sejak tahun 1900, lima diantaranya terjadi di wilayah Indonesia.

Gempa bumi ini sendiri biasanya terjadi pada jalur patahan sesar yang dilaluinya dan disebabkan oleh pergerakan lempeng-lempeng yang saling mengunci. Jalur patahan sesar adalah jalur pada struktur patahan yang telah mengalami pergeseran (Fattaah et al., 2020). Hal ini menghasilkan akumulasi energi secara terus menerus hingga batuan-batuan pada lempeng tektonik tidak lagi cukup kuat untuk menahan pergerakan sehingga menyebabkan pelepasan secara tiba-tiba yang dikenal sebagai gempa bumi.

Peristiwa gempa bumi yang terjadi di wilayah Indonesia dapat menyebabkan berbagai kerusakan terutama pada struktur bangunan. Kerusakan-kerusakan tersebut dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam, yaitu kerusakan deformasi, merupakan patahan yang terjadi di permukaan (*surface-rupture hazards*), kerusakan akibat guncangan gempa (*ground motion hazards*) dan kerusakan susulan (*secondary damage*) (Amri, 2010). Kerusakan yang disebabkan

oleh guncangan gempa sangat berbahaya terhadap gedung bertingkat karena sangat rentan dan cepat bereaksi terhadap gaya lateral yang besar serta dapat menyebabkan runtuhnya bangunan tersebut yang kemudian akan berdampak pada mobilisasi di sekitarnya. Sedangkan untuk kerusakan susulan (*secondary damage*) merupakan gerakan tanah atau likuifaksi yang dipicu oleh getaran gempa yang kemudian dapat menyebabkan bencana tsunami jika sumber gempa tersebut terdapat di bawah laut.

Peristiwa likuifaksi pernah terjadi di Kota Padang pada tahun 2009 yang dipicu oleh gempa bumi dengan magnitudo 7.6 SR. Dalam peristiwa tersebut, perpindahan tanah lateral diikuti oleh semburan pasir (*sand boiling*) dan tidak terdapat korban jiwa, namun menyebabkan kerusakan pada lantai-lantai rumah serta penurunan pondasi bangunan rumah baik bangunan tempat tinggal hingga bangunan tinggi seperti perkantoran.

Menurut data riwayat gempa *iris.edu*, di Provinsi Sumatera Utara pernah terjadi gempa bumi dengan *magnitude* paling besar yaitu 8.6 SR pada tahun 2005 serta Kota Medan sendiri termasuk kedalam wilayah dengan zona kerentanan potensi likuifaksi sedang menurut Peta Zona Kerentanan Likuifaksi ESDM RI 2019. Dominasi jenis tanah di Sumatera Utara merupakan gabungan antara jenis tanah latosol, podsolik dan regosol serta Kota Medan yang termasuk zona dataran rendah didominasi susunan batu lempung, kerikil dan pasir (Rahmadika, 2019).

Berdasarkan latar belakang di atas, potensi likuifaksi di Kota Medan, terutama pada area pembangunan Menara BRI Kota Medan akan dianalisis menggunakan beberapa besaran magnitudo gempa berdasarkan data riwayat gempa 50 tahun kebelakang dan hasil data uji *Boring Log*. *Boring Log* merupakan pengujian statis menggunakan mesin bor untuk mengambil sampel tanah dan untuk

mengetahui nilai SPT tanah. Nilai SPT tersebut kemudian akan dihitung untuk mendapatkan nilai *cyclic stress ratio* (CSR), *cyclic resistance ratio* (CRR), dan nilai faktor keamanan (FS). Jika nilai FS tersebut kurang dari satu, maka besar potensi likuifaksi dapat terjadi di sekitar area pembangunan Menara BRI Kota Medan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah Apakah lapisan tanah pada Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan berpotensi mengalami likuifaksi apabila terjadi gempa dengan magnitudo 6.0 SR, 7.0 SR, 7.5 SR, dan 8.0 SR?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dari penulisan skripsi ini yaitu untuk menganalisis potensi likuifaksi pada Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan menggunakan data SPT berdasarkan data riwayat gempa yang terjadi di Sumatera Utara dalam rentang waktu 50 tahun kebelakang. Sedangkan tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pada gempa dengan magnitudo berapakah lapisan tanah pada Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan akan mengalami likuifaksi.
2. Untuk mengetahui perbandingan nilai *safety factor* potensi likuifaksi pada tiap-tiap lapisan tanah dengan menggunakan referensi nilai percepatan gempa dasar berdasarkan SNI 03-1726-2002 dan *website* Desain Spektra Indonesia Puskim PU.

1.4 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 Kota Medan.
3. Dapat menjadi bahan rujukan atau referensi dalam pembahasan yang sama tentang likuifaksi khususnya bagi mahasiswa/i fakultas teknik maupun pihak-pihak lain yang membutuhkan.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, perlu ada batasan masalah agar menghindari adanya pelebaran 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, BH.02, dan BH.03.
2. Penelitian ini tidak menganalisis penurunan tanah (*settlement*)
3. Nilai percepatan gempa dasar (α_{max}) yang digunakan didasarkan 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, 7.0 SR, 7.5 SR, dan 8.0 SR.
5. Metode perhitungan analisis potensi likuifaksi menggunakan gabungan antara metode Youd-Idriss (2001) dan metode Idriss Boulanger (2008).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan suatu upaya penulis dalam mencari perbandingan serta kajian sehingga penulis dapat menambah pengetahuan, inspirasi, dan teori yang digunakan 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 Fase-2). Berdasarkan hasil penelitian tersebut, area reklamasi pelabuhan kontainer Belawan memiliki potensi likuifaksi jika terjadi gempa bumi dengan minimal magnitude 6.9 SR dengan PGA 0.213 g berdasarkan Peta Hazard Gempa Indonesia 2010.
- b) Penelitian yang dilakukan oleh 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 magnitude 7.5 SR, menghasilkan nilai FS < 1 yang berarti Kota Medan terdapat potensi terjadinya likuifaksi.
- c) Penelitian yang dilakukan oleh Evson Simamora dengan judul: Analisis Potensi Likuifaksi Menggunakan Data SPT (Pada Proyek Pembangunan Gedung

Bungasari Flour Mills-Medan). Berdasarkan hasil penelitian tersebut, pada Proyek Pembangunan Bungasari Flour Mills Medan terdapat potensi terjadinya likuifaksi pada BH-2 dengan kedalaman 0 – 6 m, BH-3 dengan kedalaman 2 – 6 m, BH 4 dan BH-5 dengan kedalaman 0 – 4 m, BH-6 dengan kedalaman 0 – 6 m, dan BH-7 pada kedalaman 2 – 4 m.

2.2 Tanah

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

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

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

- e) Lempung (*clay*), merupakan partikel mineral dengan ukuran <0.002 mm. Partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada jenis tanah yang kohesif.
- f) Koloid (*colloids*), merupakan partikel yang berukuran <0.001 mm.

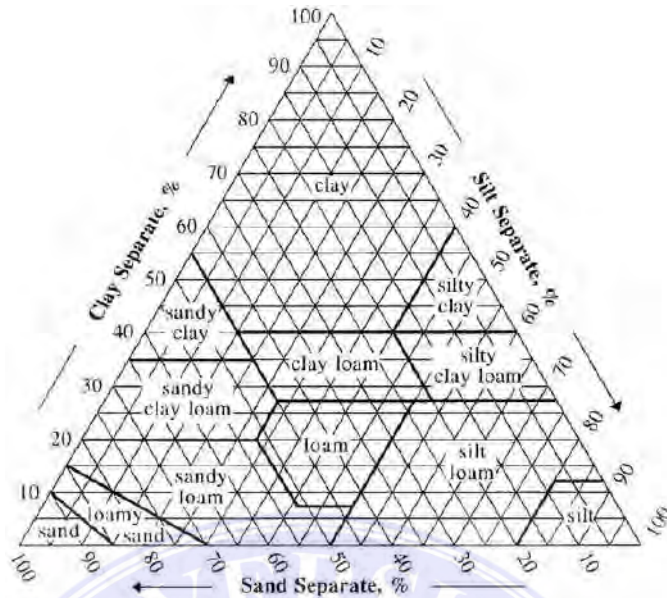
Selain klasifikasi tanah yang dijabarkan menurut Bowles (1989) diatas, terdapat beberapa cara lain yang digunakan dalam mengklasifikasikan jenis-jenis tanah, yaitu sebagai berikut :

2.2.1 USDA *Texture Triangle*

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

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

Seperti yang tertera pada Gambar 2.1 dibawah ini, tanah partikel diberi nama sesuai dengan diameternya. Diameter dari partikel-partikel ini secara drastis mengubah sifat dari tanah tersebut. Untuk pasir (*sand*) sendiri, terbuat dari partikel-partikel terbesar dengan ada banyak ruang diantaranya. Hal ini menandakan bahwa jenis tanah pasir tersebut memiliki aerasi yang baik dan dapat mengalirkan air dengan cepat.



Gambar 2.1 *The Soil Texture Triangle*

Sumber : (Butts N., *Soil Investigations*, 1994)

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

Perbedaan tekstur pada jenis tanah *sand*, *clay*, dan *silt* juga dapat dibedakan berdasarkan *visualnya* seperti yang terlihat pada Gambar 2.2 di bawah ini



Gambar 2.2 Tekstur Tanah *Clay*, *Loam*, *Sand*, dan *Silt*

Sumber : (Gill M., *Soil Texture Triangle*, 2022)

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

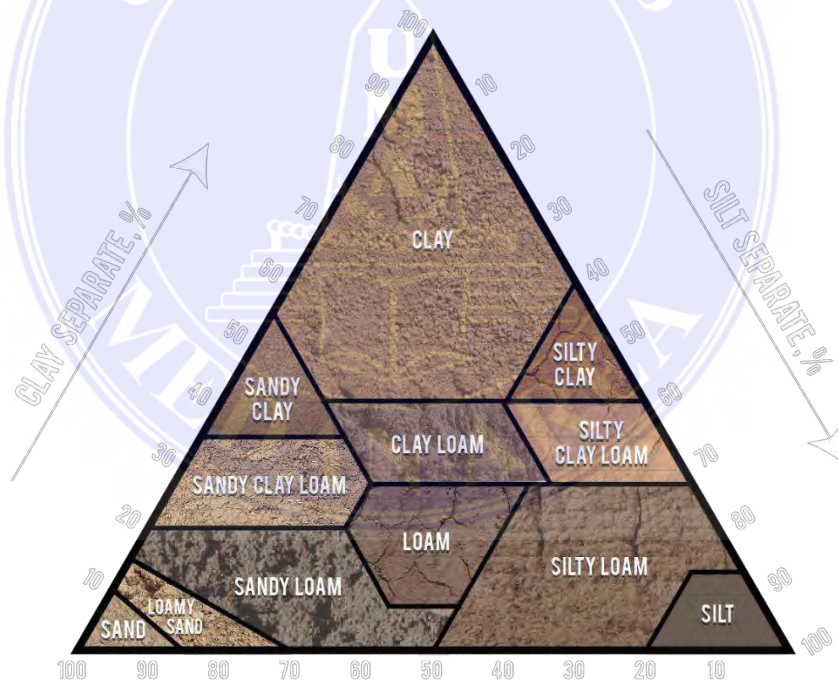
Pasir halus (*fine sand*) memiliki ukuran partikel 0.075 mm hingga 0.425 mm, pasir sedang (*medium sand*) memiliki ukuran 0.425 mm hingga 2 mm, dan pasir kasar (*coarse sand*) berukuran 2 mm hingga 4.75 mm. Tanah berpasir mudah diidentifikasi yaitu dengan menggenggam tanah kering kemudian teteskan sedikit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

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

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

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

Tanah lempung (*loam*) terdiri dari 40% pasir (*sand*), 40% lumpur (*silt*) dan 20% tanah liat (*clay*). Jenis tanah ini merupakan jenis tanah yang biasanya digunakan untuk berkebun atau menanam sayuran dikarenakan mengandung banyak nutrisi. Keempat jenis-jenis tanah diatas tidak hanya dikelompokkan menjadi 4 bagian, namun keempat jenis tersebut dapat bercampur satu sama lain sehingga teksturnya berbeda dan tidak mudah dibedakan seperti pada Gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3 Soil Texture Triangle
Sumber : (Gill M., Soil Texture Triangle, 2022)

Pada Gambar 2.3 diatas, terlihat perbedaan warna, tekstur hingga ukuran jika keempat jenis tanah tersebut tercampur. Untuk jenis tanah lempung (*loam*) sendiri dapat berwarna abu-abu, coklat, merah hingga kuning.

2.2.2 USCS (*Unified Soil Classification System*)

Merupakan sistem klasifikasi tanah yang dianjurkan oleh A. Cassagrande pada tahun 1942 dan kemudian direvisi oleh *The Corps of Engineers* dan *The US Bureau of Reclamation* pada tahun 1952. Pada klasifikasi ini, tanah dibagi menjadi 2 (dua) jenis, yaitu tanah berbutir kasar merupakan kerikil (*gravel*) dan pasir (*sand*) Pada Tabel 2.1, inisial huruf menunjukkan jenis tanahnya.

Tabel 2.1 Simbol Klasifikasi USCS

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

Sumber : (California Department of Transportation, *USCS Classification System*, 2016)

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

Tabel 2.2 Tanah Berbutir Kasar (*Coarse Grained Soils*)

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

Sumber : (California Department of Transportation, *USCS Classification System*, 2016)

Pada Tabel 2.2 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 2.3 digunakan saringan No. 200 sebagai parameter penentu jenis tanah lanau dan lempung.

Tabel 2.3 Tanah Berbutir Halus (*Fine Grained Soils*)

	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, sandy clays, silty clays, lean clays</i>
	OL	<i>Low plasticity organic silts and organic silty clays</i>
<i>SILTS & CLAYS</i> (Lanau & Lempung)	MH	<i>Silts that are inorganic, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, and elastic silts</i>
Batas cair yaitu 50% atau lebih	CH	<i>High plasticity inorganic clays, fat clays</i>
	OH	<i>Organic clays with medium to high plasticity, as well as organic silts</i>

Sumber : (California Department of Transportation, USCS Classification System, 2016)

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

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

Pada umumnya, tanah terdiri dari 3 komponen utama, yaitu air, udara dan bahan padat. Air sangat mempengaruhi sifat-sifat tanah karena jika rongga pada tanah tersebut terisi oleh air sepenuhnya, maka tanah akan dikatakan dalam kondisi jenuh. Sedangkan tanah dengan kondisi jenuh sangat berbahaya bagi bangunan di atasnya karena hal tersebut merupakan salah satu parameter penyebab likuifaksi.

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

2.3 Gempa Bumi

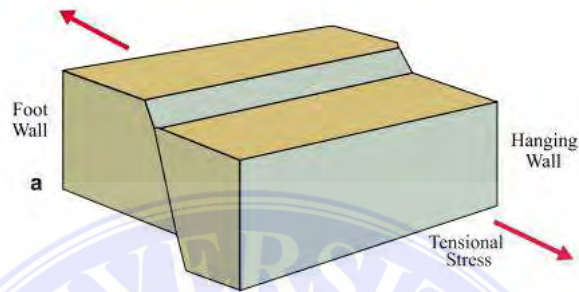
Gempa bumi merupakan suatu peristiwa dimana dua blok pada bumi saling tumpang tindih melewati satu sama lain. Titik lokasi dimana gempa bumi dimulai di bawah permukaan bumi disebut titik hiposenter. Sedangkan titik lokasi dimana gempa terjadi di atas permukaan bumi disebut episenter.

2.3.1 Jenis-Jenis Sesar (Patahan)

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

1. Patahan Normal (*Normal Fault*)

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

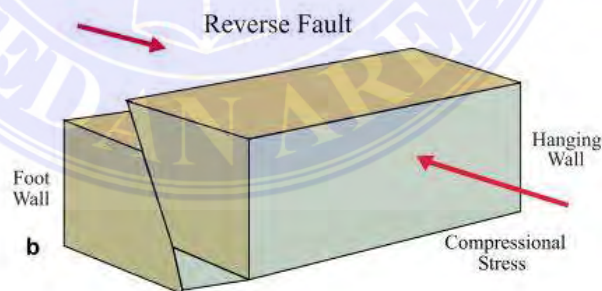


Gambar 2.4 Normal *Fault*

Sumber : (Baxter, S.J, Delaware *Special Publication* No. 23: *Earthquake Basic*, 2000)

2. Reverse *Fault*

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



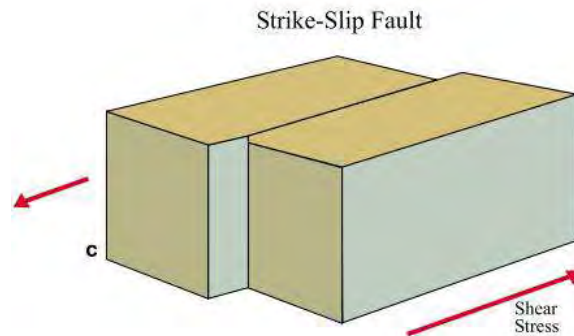
Gambar 2.5 Reverse *Fault*

Sumber : (Baxter, S.J, Delaware *Special Publication* No. 23: *Earthquake Basic*, 2000)

3. Strike *Fault*

Merupakan jenis patahan pada Gambar 2.6 dengan arah gerak yang relatif mendatar ke arah kiri atau kanan. Penyebab patahan ini adalah karena

adanya gaya yang mengenai sebuah batuan dari arah samping.



Gambar 2.6 Strike Fault

Sumber : (Baxter, S.J, Delaware *Special Publication No. 23: Earthquake Basic*, 2000)

2.3.2 Jenis-Jenis Gempa Bumi

1. Gempa Vulkanik

Merupakan jenis gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas magma atau pelepasan energi yang terjadi pada gunung berapi. Gempa bumi ini dapat terjadi sebelum, selama maupun setelah erupsi dari gunung berapi ataupun ketika terdapat aktivitas pada inti bumi. Dampak yang dapat ditimbulkan akibat dari gempa bumi vulkanik yaitu adanya kabut asap dan semburan abu vulkanik yang dapat menghalangi sinar matahari gelap 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 yang 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 2.4.

Tabel 2.4 Jenis Gempa Tektonik Berdasarkan Kedalaman Gempa

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

Sumber : (Malik, Y., Bahan Ajar Gempa Bumi UPI, 2013)

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

3. Runtuhan

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

2.3.3 Besar Kekuatan Gempa

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

a) Skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*)

Merupakan satuan yang diciptakan oleh seorang ahli vulkanologis yang berasal dari Italia yang bernama Giuseppe Mercalli pada tahun 1902. Dalam

metode pembagian skala MMI ini dibagi menjadi 12 jenis yang diambil berdasarkan informasi dari orang-orang yang selamat dari gempa bumi dan kemudian hasilnya dibandingkan untuk mengetahui tingkat kerusakan yang diperoleh akibat dari adanya gempa bumi tersebut. Karena hasilnya dihitung berdasarkan tempat, maka hasilnya tidak sama di setiap tempat. Pembagian pengaruh resiko gempa terhadap skala MMI dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Skala Intensitas Gempa Bumi BMKG

Skala SIG BMKG	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA
I	Tidak Dirasakan	Tidak terasa atau hanya dirasakan oleh segelintir orang, namun terekam oleh alat.	I - II	< 2.9
II	Dirasakan	Dapat dirasakan oleh orang banyak, namun tidak menimbulkan kerusakan. Benda-benda ringan yang tergantung bergoyang dan kaca jendela bergetar.	III - V	2.9 - 88
III	Kerusakan Ringan	Bagian non-struktural bangunan mengalami kerusakan ringan, termasuk retak rambut di dinding.	VI	89 - 167
IV	Kerusakan Sedang	Banyak retakan muncul di dinding bangunan sederhana, sebagian runtuh dan kaca pecah. Beberapa plester dinding juga terkelupas serta sebagian besar genteng akan meluncur ke bawah. Stuktur bangunan akan mengalami kerusakan ringan hingga sedang.	VII - VIII	168 - 564
V	Kerusakan Berat	Sebagian besar dinding bangunan permanen runtuh dan struktur bangunan rusak parah.	IX - XII	> 564

Sumber : (Kementrian ESDM, Skala MMI: *Modified Mercally Intensity*, 2021)

Penggunaan skala MMI jarang digunakan dibandingkan dengan skala ritcher dikarenakan skala MMI hanya digunakan jika tidak terdapat peralatan seismometer yang dapat mengukur kekuatan gempa di area kejadian.

b) Skala Rithcer

Skala Richter atau SR merupakan salah satu metode yang paling sering digunakan dalam mengklasifikasi skala gempa. Satuan ini diciptakan oleh vulkanologis bernama DR. Charles F. Richter yang bekerja sama dengan Beno Gutenberg yang berasal dari *California Institute of Technology* pada tahun 1935. Satuan ini dinyatakan dengan nama *magnitude* dengan simbol Mw. Pembagian besar pengaruh gempa berdasarkan besaran *magnitude* skala ritcher dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 *Magnitude* Gempa dan Pengaruh Gempa

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.

Sumber : (Wardhiny, B.K , Kajian Analisis Resiko Bencana Sesar, 2014)

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

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

2.3.4 Riwayat Gempa Bumi di Sumatera Utara

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

Berdasarkan data riwayat gempa pada Tabel 2.7 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 2.7 Data Gempa Bumi di Sumatera Utara dalam 50 Tahun Terakhir

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. Sitingjau Laut
06 Apr 2000	102,407° BT	4,734° LS	7,9	Kota Bengkulu
28 Mar 2005	97,01° BT	2,07° LU	8,7	Gunung Sitoli, Sumatera Utara
03 Jul 2007	100,498° BT	0,536° LS	6,3	Solok, Sumatera Barat
09 Dec 2007	101,382° BT	4,517° LS	8,4	Bengkulu, Seblat
13 Sep 2007	100,964° BT	2,525° LS	7,9	Pesisir Selatan, Sumatera Barat
30 Sep 2009	99,961° BT	0,789° LS	7,9	Padang Pariaman, Sumatera Barat
12 Jul 2016	96,24° BT	5,25° LU	6,5	Pidie Jaya, Aceh

Sumber : <http://ds.iris.edu/ieb>

2.4 Likuifaksi

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

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

2.4.1 Syarat Terjadinya Likuifaksi

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

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

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

2.4.2 Jenis-Jenis Likuifaksi

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

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

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

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

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

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

Tabel 2.8 Perbedaan *Cyclic Liquefaction* dan *Flow Liquefaction*

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

Sumber : (Fernando, N., Analisis Potensi *Cyclic Mobility* pada Tanah Kohesif, 2019)

Berdasarkan Tabel 2.8 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 Likui-faksi

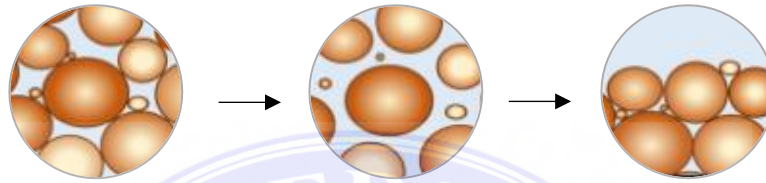
Dalam menganalisis potensi likui-faksi, perlu dilakukan beberapa tahapan evaluasi awal mengenai syarat-syarat terjadinya likui-faksi. Tahapan evaluasi bahaya likui-faksi tersebut yaitu :

1. Mengevaluasi jenis tanah pada lokasi penelitian tersebut, apakah jenis tanah tersebut merupakan jenis tanah yang termasuk kedalam jenis tanah yang rentan terhadap likui-faksi, yaitu jenis tanah *sand* atau *silts*.
2. Jika syarat pertama terpenuhi, maka dapat dilakukan evaluasi kedua yaitu mengenai penyebab likui-faksi pada lokasi tersebut. Likui-faksi 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 likui-faksi 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 likui-faksi tersebut terjadi. Jika likui-faksi 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 Likui-faksi

Dalam memahami proses terjadinya likui-faksi, perlu dipahami bahwa suatu endapan tanah terdiri dari partikel-partikel. Jika diperhatikan dengan seksama,

partikel-partikel tersebut terletak saling berdekatan dan menopang satu sama lain. Dengan adanya kontak antar partikel tersebut, tanah menjadi memiliki kekuatan untuk memikul beban di atasnya. Kondisi ini akan menguntungkan tanah karena beban yang berada di atas tanah akan dipikul secara bersamaan oleh seluruh partikel.



Gambar 2.7 Tanah Dalam Keadaan Normal, Likuifaksi dan Setelah Likuifaksi

Sumber : (S., A. (Ega) M., Mengenal Tentang Likuifaksi: Perspektif Geologi, 2020)

Pada Gambar 2.7 terlihat bahwa terdapat banyak rongga di antara partikel tanah yang telah dipenuhi oleh air. Pada kondisi normal, air pada tanah memiliki tekanan air pori yang relatif rendah. Saat menerima tekanan dari getaran secara tiba-tiba, partikel air tersebut akan terdesak keluar hingga ia akan menaikkan tekanannya. Namun pada saat terjadi gempa, karena getaran gempa yang berlangsung secara berulang-ulang dan terjadi secara cepat, air tersebut kemudian tidak memiliki cukup waktu untuk keluar dari tanah melalui rongga-rongga tanah, sehingga kemudian air tersebut mendorong partikel tanah hingga menjadi menjauh. Pada akhirnya partikel-partikel tanah tidak dapat mendistribusikan beban dengan baik.

2.4.5 Dampak Terjadinya Likuifaksi

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

1. *Sand Boils*

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

2. *Flow Failures*

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

3. *Lateral Spreads*

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

4. *Ground Oscillation*

Merupakan peristiwa dimana likuifaksi terjadi pada deposit tanah yang berada di bawah suatu area yang mengalami pergerakan. Biasanya berupa suatu massa tanah yang berupa blok utuh di bawah permukaan tanah. Jika tanah di bawahnya mengalami likuifaksi sedangkan lapisan tanah di atasnya

tidak, maka akan terjadi pergerakan bolak-balik dan naik turun pada lapisan tanah di atasnya sebagai akibat dari lapisan bawahnya yang telah mencair. Kondisi ini akan menyebabkan munculnya retakan-retakan besar dan akan terjadi tabrakan antar *section* satu dengan yang lainnya.

5. *Loss of Bearing Capacity*

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

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*

Merupakan jenis kerusakan yang disebabkan oleh peningkatan beban lateral pada tanah yang terlikufaksi. Kondisi ini dapat menyebabkan hilangnya suatu kekuatan dari massa tanah yang sudah mengalami likuifaksi sehingga terjadi kegagalan pada struktur pondasi.

2.4.6 **Histori Kasus Likufaksi di Indonesia**

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

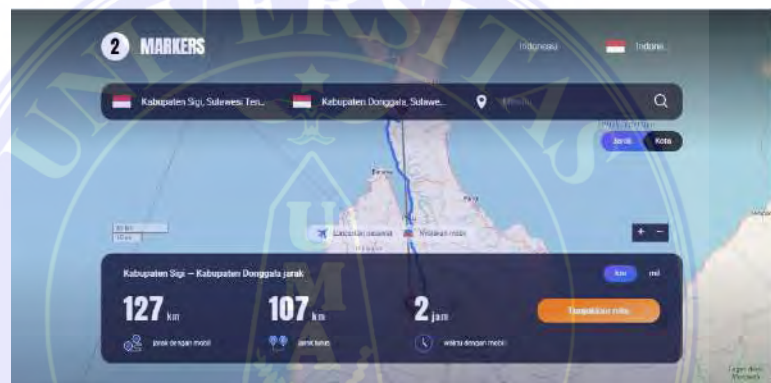
1. Likuifaksi di Jogjakarta Tahun 2006

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

2. Likuifaksi di Palu Tahun 2018

Wilayah Palu merupakan wilayah kota yang berada di ujung teluk dekat pesisir yang menyempit ke daratan. Berdasarkan penelitian sebelumnya, wilayah Palu memiliki tanah dengan kontur yang mudah terjadi likuifaksi

dikarenakan ketebalan sedimennya mencapai 170 meter dan menjadikan wilayah tersebut tidak aman untuk dijadikan tempat tinggal. Gempa bumi dengan *magnitude* 7.4 SR mengguncang Kota Palu dan Donggala pada tanggal 28 September 2018. Pusat gempa berada di kedalaman 10 km dengan jarak 27 km sebelah timur laut Donggala. Dengan *magnitude* tersebut, getaran yang ada akan sangat besar sehingga menyebabkan tsunami dan likuifaksi di wilayah tersebut. Untuk bencana likuifaksinya sendiri terjadi di daerah Sigi, Petabo, dan kawasan Palu Selatan.



Gambar 2.8 Jarak Kab. Donggala ke Kab. Sigi

Sumber : <http://idmarkers.com>

Berdasarkan Gambar 2.8 di atas, jarak dari pusat gempa Donggala ke Kab. Sigi mencapai ± 100 kilometer yang berarti meskipun pusat gempa berada jauh dari kawasan tersebut tetap memungkinkan adanya potensi bencana likuifaksi.

3. Likuifaksi Aceh Pidie Jaya Tahun 2016

Pada tanggal 07 Desember 2016, Provinsi Aceh tepatnya di kawasan Kabupaten Pidie Jaya diguncang gempa dengan *magnitude* 6.5 SR yang berpusat di daratan. Gempa tersebut mengakibatkan jatuhnya korban jiwa sedikitnya 104 orang meninggal dunia. Selain itu, gempa tersebut juga

menyebabkan adanya bencana susulan yaitu likuifaksi. Likuifaksi terjadi di arah utara hingga selatan, yaitu ditandai dengan munculnya retakan pada jalan serta munculnya pasir halus berwarna abu-abu kehijauan diantara celah-celah retakan tersebut. Retakan tersebut menyebabkan hancurnya bangunan-bangunan yang ada di sekitarnya. Likuifaksi tersebut juga menunjukkan adanya gunung pasir (*sand boil*).

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

Tabel 2.9 Histori Kejadian Likuifaksi di Pulau Sumatera

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

Sumber : (Badan Geologi ESDM, Atlas Zona Likuefaksi Indonesia, 2019)

Berdasarkan Tabel 2.9 di atas, dapat dilihat bahwa Sumatera Utara memiliki 2 kali histori kejadian likuifaksi pada tahun 1987 dan 2005. Lokasi yang pernah mengalami likuifaksi, kedepannya berkemungkinan akan mengalami likuifaksi kembali. Maka dari itu, diperlukan penanganan seperti injeksi semen yang bertujuan untuk memperkuat kepadatan pasir lepas menjadi pasir padat.

2.5 Parameter Identifikasi Potensi Likuifaksi

2.5.1 Tegangan Tanah

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

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

Dimana :

σ_v = Tegangan vertikal total tanah (kN/m²)

γ = Berat isi lapisan tanah (kN/m²)

z = Kedalaman tanah yang ditinjau (m)

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

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

Dimana :

μ = Tekanan air pori tanah (kN/m²)

γ_w = Berat volume air = 9.81 (kN/m²)

z = Kedalaman tanah yang ditinjau (m)

Air yang bertekanan kemudian akan mengalir keluar sehingga tekanan air pori akan berkurang. Setelah tekanan air pori hilang, maka seluruh beban akan dipikul oleh bidang kontak antar butiran tanah yang disebut tegangan vertikal efektif. Tegangan vertikal efektif tanah dapat dihitung dengan persamaan berikut :

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

Dimana :

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

σv = Tegangan vertikal total tanah (kN/m²)

μ = Tegangan air pori (kN/m²)

Perhitungan manual di atas dapat digunakan jika terdapat data hasil pengujian *sieve analysis*, namun jika tidak terdapat data hasil pengujian *sieve anaylis*, maka perhitungan nilai tegangan tanah dapat menggunakan nilai korelasi pada Tabel 2.10 di bawah ini.

Tabel 2.10 Nilai Korelasi Parameter Tanah dengan N-SPT untuk Jenis Tanah Pasir (*Sand*) dan Lempung (*Clays*)

Nilai N-SPT	Soil Parameters Description	Nilai Koreksi		
		Relative Density Dr %	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
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>		γ (kN/m ³)	S _u (Kpa)
0 - 1	Very Soft		15.7 - 18.8	0
2 - 3	Soft			12
4 - 7	Medium		17.3 - 20.4	25
8 - 15	Stiff			50
16 - 31	Very Stiff		18.8 - 22.0	100
32	Hard			200

Sumber : (Kouretzis, *Fundamentals of Foundation Engineering and Their Applications*, 2018)

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 :

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

Dimana :

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

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

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

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

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

Dimana :

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

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

Dimana :

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

pa = 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 2.11 Faktor Koreksi Uji SPT (Skempton)

Faktor	Jenis Alat	Parameter	Koreksi
Tegangan Vertikal Efektif	-	C_N	$2,2 / (1,2 + (\sigma'v/pa))$
Tegangan Vertikal Efektif	-	C_N	$C_N < 1,7$
Rasio Tenaga	Palu Donat (<i>Donut Hammer</i>)	C_E	0,5 - 1,0
Rasio Tenaga	Palu Pengaman (<i>Safety Hammer</i>)	C_E	0,7 - 1,2
Rasio Tenaga	Palu otomatis (<i>Automatic-trip Donut-type Hammer</i>)	C_E	0,8 - 1,3
Diameter Bor	65 s/d 115 mm	C_B	1,0
Diameter Bor	150 mm	C_B	1,05
Diameter Bor	200 mm	C_B	1,15
Panjang Batang	< 3 m	C_R	0,75
Panjang Batang	3 s/d 4 m	C_R	0,8
Panjang Batang	4 s/d 6 m	C_R	0,85
Panjang Batang	6 s/d 10 m	C_R	0,95
Panjang Batang	10 s/d 30 m	C_R	1,0
Pengambilan Contoh	Tabung Standar	C_s	1,0
Pengambilan Contoh	Tabung Dengan Pelapis (<i>liner</i>)	C_s	1,1 - 1,3

Sumber : (BSN, Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT SNI 4153:2008, 2008)

Berdasarkan Tabel 2.11 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 :

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

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

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

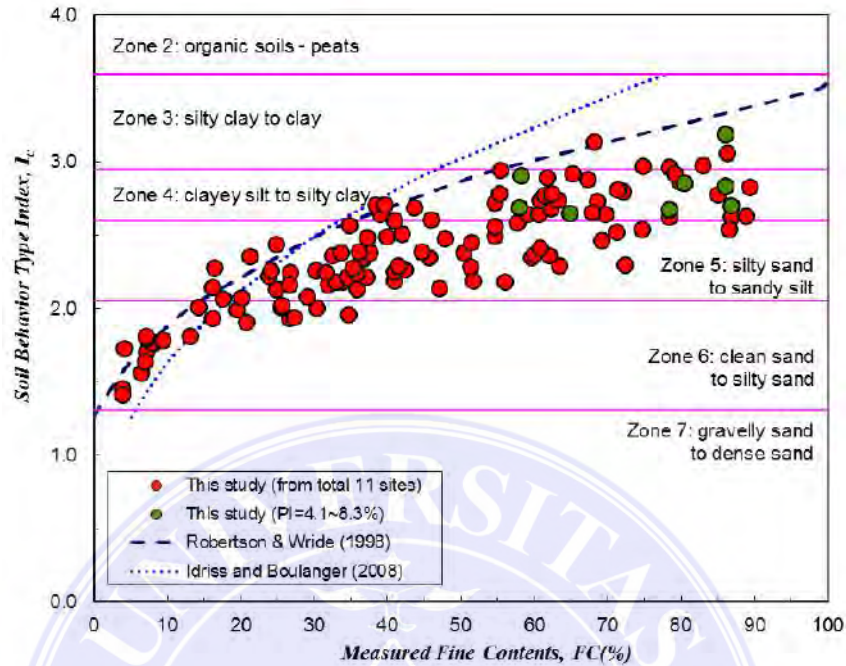
Persamaan (7) dipakai ketika tanah tersebut merupakan jenis tanah dimana lempungnya dominan, sedangkan persamaan (8) dan (9) dipakai ketika jenis tanah tersebut merupakan jenis tanah pasir atau lanaunya dominan.

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

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

Nilai *finer content* dapat diketahui dari pengujian *sieve analysis* dengan melihat nilai % lolos saringan No. 200. Namun jika tidak ada data pengujian tersebut dapat digunakan nilai korelasi *measured finer content* (FC %) yang

dikemukakan oleh (Robertson, 1990) dalam (Yi, 2014) pada Gambar 2.9 di bawah.

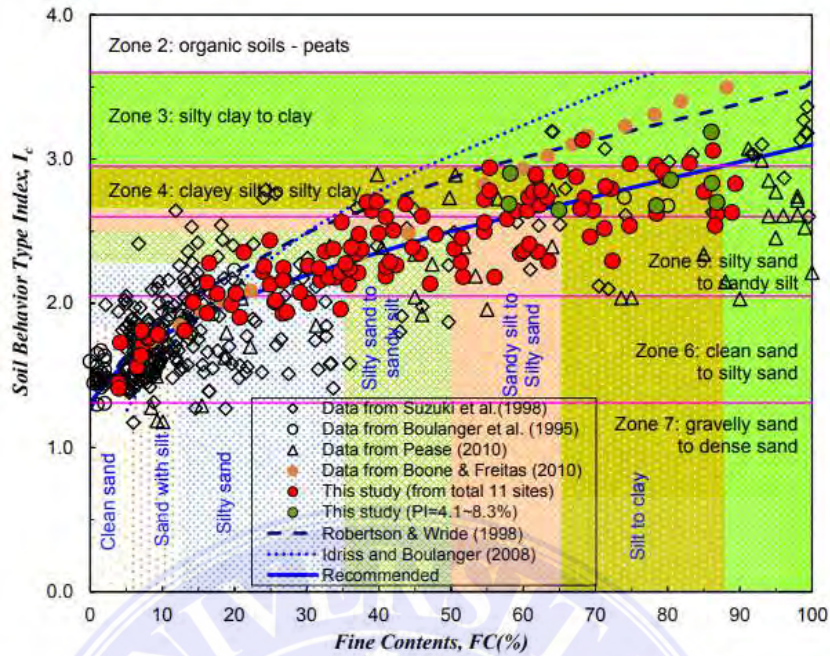


Gambar 2.9 Grafik Korelasi *Measured Fines Content* dengan *Soil Behaviour Type Index*

Sumber : (YI, F., *Estimating Soil Fines Contents From CPT Data*, 2014)

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

Selain itu, peneliti (Yi, 2014) juga mengumpulkan data yang dikumpulkan dari total 11 lokasi proyek dan berbagai lokasi penelitian yang diterbitkan. Persamaan pada Gambar 2.10 menunjukkan hubungan antara *fines content*, zona *soil behaviour index* dan jenis tanah yang dibagi menjadi 7 bagian berdasarkan klasifikasi USCS.



Gambar 2.10 Hubungan antara *Measured Fines Content (%)*, *Soil Behaviour Index (Ic)* dan *Klasifikasi Tanah USCS*

Sumber : (Yi, F., *Estimating Soil Fines Contents From CPT Data*, 2014)

Berdasarkan Gambar grafik hubungan di atas, dapat dilakukan pembacaan

Tabel sebagai berikut :

Tabel 2.12 Tabel Nilai Korelasi Hubungan antara *Soil Behaviour Type Index (Ic)*, *Fines Content (%)* dan *Jenis Tanah Klasifikasi USCS*

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

Sumber : (Yi, F., *Estimating Soil Fines Contents From CPT Data*, 2014)

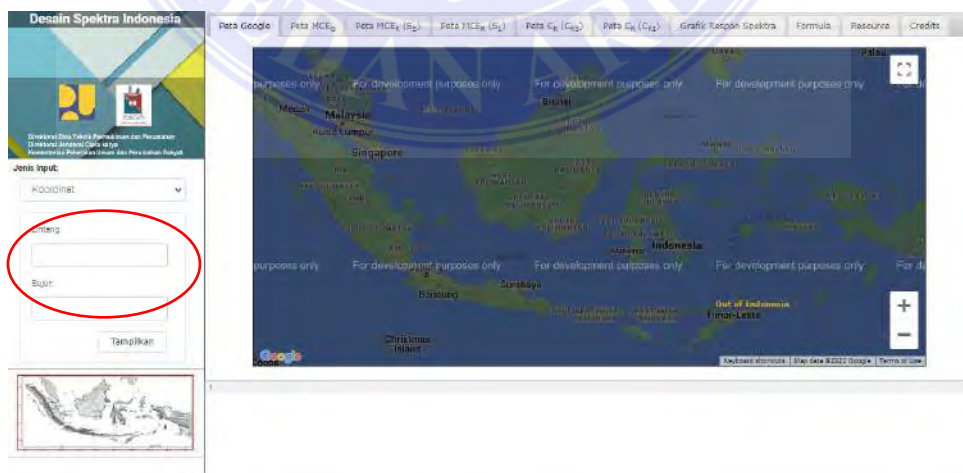
Tabel 2.12 di atas dapat digunakan dengan mengkorelasikan jenis tanah sesuai dengan klasifikasi USCS yang terdapat pada data hasil pengujian *boring log*

dengan nilai *finis content* yang ada pada Tabel tanpa harus menghitung nilai I_c terlebih dahulu dikarenakan patokan untuk nilai *finis content* yaitu hanya 5%, 15% dan 35%.

2.5.3 Percepatan Gempa Dasar (α_{max})

Percepatan gempa dasar atau *Peak Ground Accerleration* (PGA) atau bisa dilambangkan dengan α_{max} merupakan percepatan puncak muka tanah akibat dari getaran gempa bumi yang terjadi. Perhitungan PGA untuk wilayah Indonesia dapat menggunakan data literatur yang sudah ada sebelumnya seperti Peta Zona Gempa Indonesia (SNI 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 2.11 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.

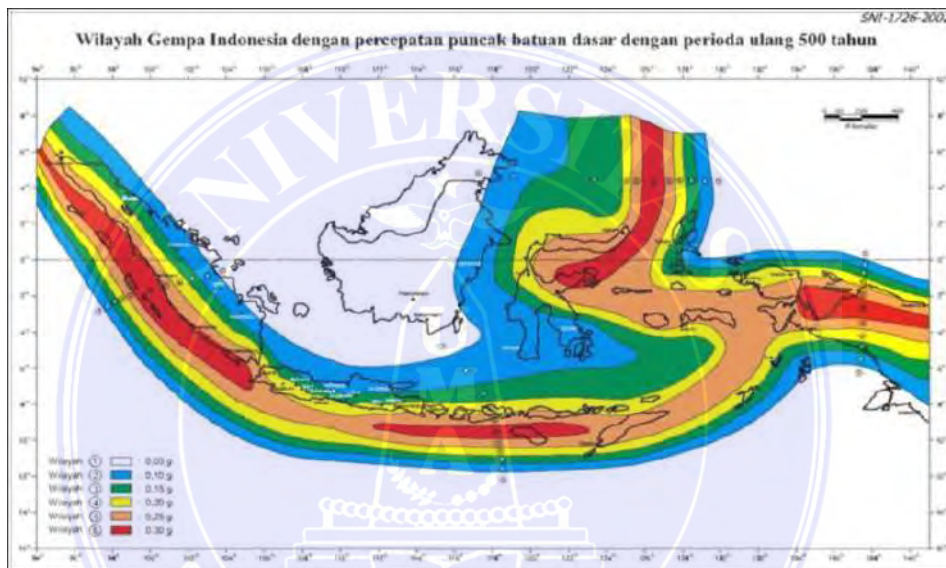


Gambar 2.11 Halaman Puskim Desain Spektra Indonesia

Sumber : <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>

Pada halaman depan puskim akan ditemui kolom pengisian koordinat lintang dan bujur. Untuk mendapatkan nilai PGA, kolom lintang dan bujur harus diisi sesuai dengan koordinat lokasi tanah yang akan diteliti. Koordinat lokasi yang akan diteliti dapat dicari melalui *google maps*.

Selain itu, penulis juga menggunakan referensi nilai percepatan gempa dasar berdasarkan SNI 03-1726-2002.



Gambar 2.12 Percepatan Gempa Dasar SNI 03-1726-2002
Sumber : (BSN, SNI 03-1726-2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa, 2002)

Berdasarkan Gambar 2.12 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, *tress reduction ractor* 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 pada setiap kedalaman sehingga harus dihitung pada tiap-tiap kedalaman.

Perhitungan *stress reduction factor* (r_d) menurut (*Seed and Idriss, 1971*) harus menunjukkan fungsi dari kedalaman dan juga *earthquake magnitude* (M_w) referensi. SFR dapat dihitung dengan persamaan berikut :

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

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

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

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 = 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

$\sigma'v$ = 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 :

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

Dimana :

MSF = *Magnitude scaling factors*

M_w = Magnitudo gempa

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

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

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

Dimana :

K_σ = Faktor koreksi *overburden*

σ_v = Tegangan vertikal total tanah (kN/m²)

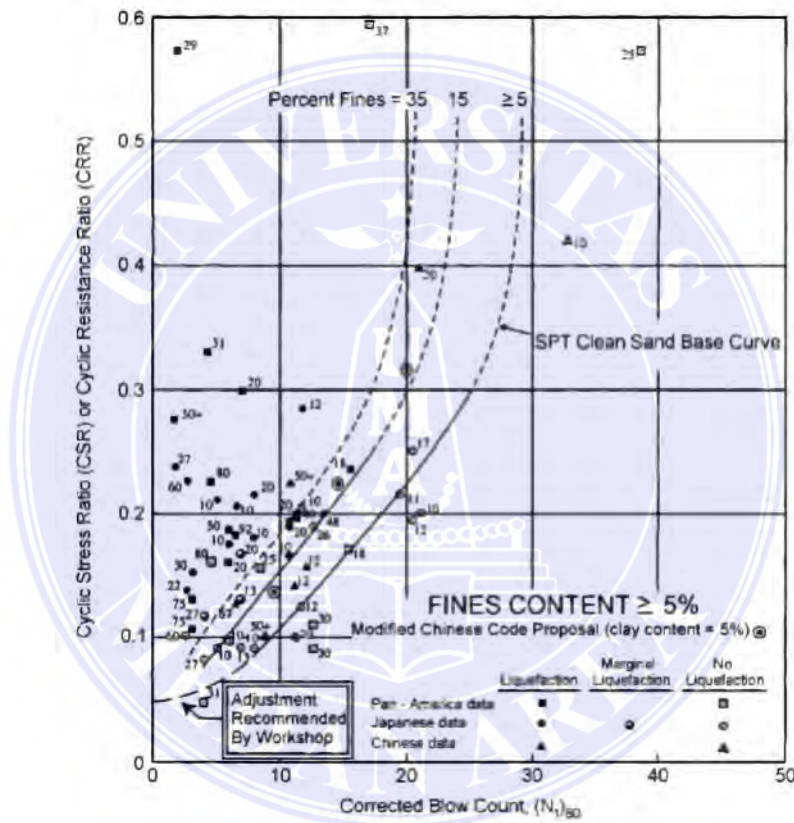
p_a = Tegangan atmosfer 100 kPa (1 atm)

f = Faktor kerapatan relatif tanah

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

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

NCEER atau *National Center for Earthquake Engineer Research* merupakan sebuah workshop yang berisi 31 orang eksperts dan *observer* yang pertama kali dilakukan pada tahun 1985 dengan tujuan untuk membuat sebuah laporan mengenai pengetahuan tentang likuifaksi dan bahayanya. Hingga saat ini, laporan tersebut telah menjadi standar atau referensi dan digunakan secara umum dalam hal penelitian tentang bahaya likuifaksi.



Gambar 2.13 Kurva Hubungan antara N -SPT *Clean Sand* dengan Gempa Bumi Magnitudo 7.5 SR

Sumber : (*Soil Liquefaction During Earthquakes 2nd Edition*, 2008)

Pada Gambar 2.13 terlihat bahwa kurva memisahkan data terkait area yang terdampak likuifaksi dengan lokasi yang tidak terdampak likuifaksi. Kurva tersebut dikembangkan untuk jenis tanah dengan FC 5% atau kurang, 15% dan 35%. Presentase kriteria tersebut merupakan dasar dalam perhitungan potensi 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 :

$$CRR_{Mw} = CRR_{7.5} \cdot K_{\sigma} \cdot MSF \dots\dots\dots (18)$$

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

$$CRR_{7.5} = \exp \left\{ \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{14.1} \right] + \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{126} \right]^2 - \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{23.6} \right]^3 + \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{25.4} \right]^4 - 2.8 \right\} \dots\dots(19)$$

Dimana :

CRR = Kemampuan tanah untuk menahan likuifaksi

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

$CRR_{7.5}$ = *Cyclic resistance ratio* pada skala 7.5 SR

2.5.7 Factor of Safety (FS)

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

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

Dimana :

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

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

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

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



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan yang berlokasi di Jl. Putri Hijau No. 2 Kec. Medan Timur, Kab. Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia. Pada Gambar 3.1 yang merupakan lokasi proyek ini merupakan lokasi strategis yang berada di tengah-tengah kota dengan dominasi bangunan-bangunan tinggi.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian
Sumber : <https://www.google.com/maps>

3.2 Teknik Pengumpulan Data

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

3.2.1 Data Primer

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

1. Pondasi *Bore Pile*

Bore pile merupakan jenis pondasi dimana cara pengerjaannya yaitu dengan mengebor tanah terlebih dahulu.



Gambar 3.2 Pondasi *Bore Pile*
Sumber : Dokumentasi Lapangan

Pada Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan, pondasi yang digunakan adalah jenis pondasi *bore pile* dengan diameter Ø800.

2. *Drilling Rig*

Merupakan alat yang digunakan untuk menghancurkan atau mengebor tanah sesuai dengan kebutuhan proyek.



Gambar 3.3 *Drilling Rig* ZR160A-1
Sumber : Dokumentasi Lapangan

Jenis alat *drilling* yang digunakan adalah Zoomlion ZR160A-1 *rotary drilling rig* dengan spesifikasi pada Tabel 3.1 yaitu sebagai berikut :

Tabel 3.1 Spesifikasi Alat ZR160A-1

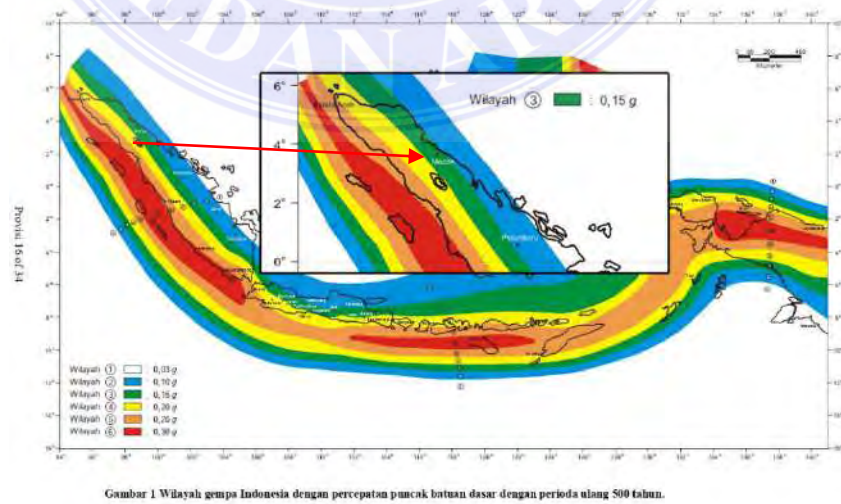
<i>Spesification</i>		
Deskripsi	Vol.	Unit
<i>Maximum drill torque</i>	160	kN.m
<i>Maximum drilling diameter</i>	1500	mm
<i>Operating height</i>	18881	mm
<i>Transport length</i>	14626	mm
<i>Transport width</i>	3000	mm

Sumber : (Zoomlion, ZR160A1 *Spesification*, 2015)

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



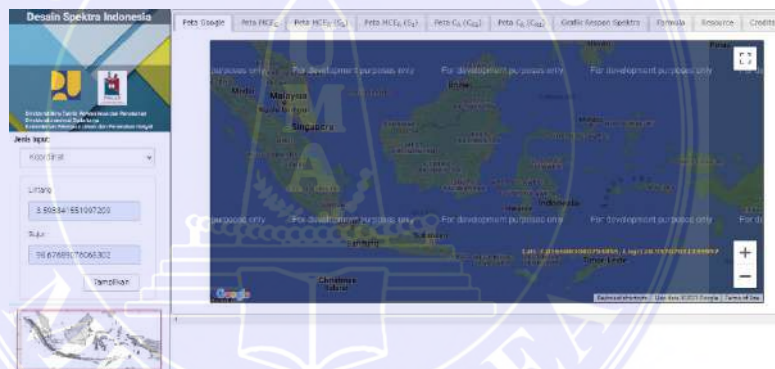
Gambar 3.4 SNI 03-1726-2002 Wilayah Medan

Sumber : (BSN, SNI 03-1726-2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa, 2002)

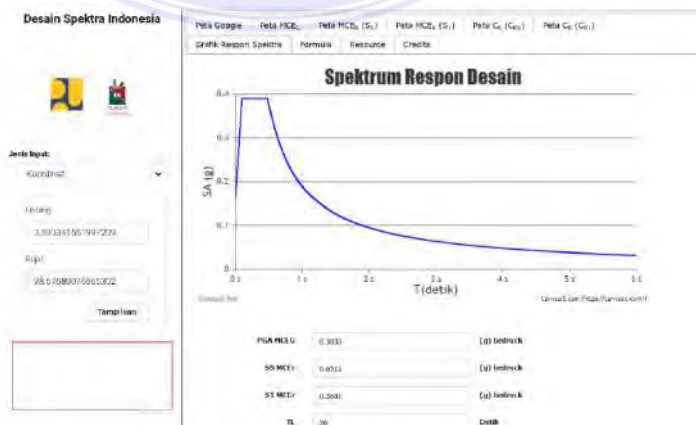
Berdasarkan Gambar 3.4 diketahui bahwa wilayah Kota Medan termasuk kedalam wilayah 3 dengan nilai percepatan gempa PGA yaitu 0.15 g. Angka tersebut sesuai dengan persyaratan terjadinya likuifaksi yaitu *peak ground acceleration* harus lebih dari 0,1 g.

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 3.5 Halaman Depan Web Desain Spektra Indonesia Puskim PU
Sumber : rsa.ciptakarya.pu.go.id



Gambar 3.6 Halaman Hasil Nilai Percepatan Gempa Dasar Puskim PU
Sumber : rsa.ciptakarya.pu.go.id

Berdasarkan Gambar 3.5 dan Gambar 3.6, nilai PGA untuk area Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan adalah 0.3030 g.

3. Data *Drilling Log*

Data ini merupakan data hasil pengujian *standart penetration test*, yang mana data tersebut disebut sebagai *drilling log*. Data *drilling log* dibagi menjadi 3 titik yaitu, BH.01, BH.02, dan BH.03.

Tabel 3.2 *Drilling Log* BH.01

<i>Soil Investigation BRI Tower Medan</i>				
<i>Depth</i>	<i>z (m)</i>	<i>Symbol</i>	<i>Description</i>	<i>N-SPT</i>
01.00 - 01.45	1.45		<i>Silt, yellowish brown, soft, low plasticity, with some clay and sand</i>	3.0
02.00 - 03.00	3.00	ML		4.0
04.00 - 04.45	4.45		<i>Silty sand, dark brown, medium dense, with contain of gravels</i>	19.0
05.00 - 06.00	6.00	SM		16.0
07.00 - 07.45	7.45		<i>Clayey silt, yellowish to greyish brown, medium stiff, low plasticity, with some sands</i>	3.0
08.00 - 08.50	8.50	ML		5.0
10.00 - 10.45	10.45			13.0
11.00 - 12.00	12.00		<i>Silty sand, dark brown to dark grey, medium dense to dense</i>	15.0
13.00 - 13.45	13.45	SM		38.0
14.00 - 15.00	15.00			45.0
16.00 - 16.45	16.45			19.0
17.00 - 17.45	17.45		<i>Sandy silt, dark brown, very stiff, with some clay</i>	27.0
19.00 - 19.45	19.45	ML		8.0
20.00 - 20.45	20.45			12.0
22.00 - 22.50	22.50	SM	<i>Silty sand, dark grey, medium dense</i>	26.0
24.00 - 24.45	24.45			35.0
25.00 - 25.45	25.45			>50
27.00 - 27.45	27.45			>50
29.00 - 29.45	29.45			>50
30.00 - 30.45	30.45			46.0
32.00 - 32.45	32.45	SW	<i>Sand, fine to medium grains, grey, dense to very dense</i>	>50
34.00 - 34.45	34.45			>50
35.50 - 35.95	35.95			>50
37.00 - 37.45	37.45			48.0
39.00 - 39.45	39.45			45.0
40.50 - 40.95	40.95			42.0
42.00 - 42.45	42.45	CL	<i>Silty clay, yellowish brown, stiff, low to medium plasticity</i>	14.0
44.00 - 44.45	44.45			40.0
45.50 - 45.95	45.95			39.0
47.00 - 47.95	47.95	SW	<i>Sand, fine to medium grains, grey, dense to very dense</i>	>50
48.50 - 48.95	48.95			>50
49.50 - 49.95	49.95			>50

Sumber : Data *Drilling Log* Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan

Berdasarkan Tabel 3.2, dapat diketahui bahwa jenis tanah pada titik BH.01 rata-rata adalah jenis tanah *silt* dan *sand*, dimana jenis tanah tersebut memenuhi persyaratan dalam potensi terjadinya likuifaksi, sehingga dapat dilakukan penelitian lebih lanjut berdasarkan data tersebut.

Tabel 3.3 *Drilling Log* BH.02

<i>Soil Investigation BRI Tower Medan</i>				
<i>Depth</i>	<i>z</i> (m)	<i>Symbol</i>	<i>Description</i>	<i>N-SPT</i>
01.50 - 01.95	1.95	GP	<i>Filling materials, mixtures of gravels, cobbles, sand silt, gray to dark brown</i>	10.0
03.00 - 03.45	3.45			17.0
05.00 - 05.45	5.45	ML	<i>Silt, yellowish grey brown to dark brown, stiff, low plasticity, with some sand and clay</i>	16.0
06.00 - 06.45	6.45			18.0
07.00 - 07.45	7.45	SM	<i>Silty sand, dark grey, medium dense, with contain of gravels</i>	22.0
09.00 - 09.45	9.45			16.0
10.00 - 10.45	10.45	ML	<i>Clayey silt, yellowish dark grey, low plasticity, medium stiff</i>	13.0
12.00 - 12.45	12.45			7.0
13.00 - 13.45	13.45	SM	<i>Clayey to silty sand, dark grey, medium dense</i>	21.0
15.00 - 15.45	15.45			30.0
16.00 - 16.45	16.45	SM	<i>Clayey to silty sand, dark grey, medium dense</i>	16.0
18.00 - 18.45	18.45			34.0
19.00 - 19.45	19.45	SW	<i>Sand, grey, fine to medium grain sands, dense to very dense</i>	19.0
21.00 - 21.45	21.45			40.0
22.50 - 22.95	22.95	SW	<i>Sand, grey, fine to medium grain sands, dense to very dense</i>	50.0
24.00 - 24.45	24.45			>50
26.00 - 26.45	26.45	SW	<i>Sand, grey, fine to medium grain sands, dense to very dense</i>	>50
27.50 - 27.95	27.95			>50
29.00 - 29.45	29.45	SW	<i>Sand, grey, fine to medium grain sands, dense to very dense</i>	>50
31.00 - 31.45	31.45			>50
32.50 - 32.95	32.95	SW	<i>Sand, grey, fine to medium grain sands, dense to very dense</i>	>50
34.00 - 34.45	34.45			>50
36.00 - 36.45	36.45	SW	<i>Sand, grey, fine to medium grain sands, dense to very dense</i>	40.0
37.50 - 37.95	37.95			44.0
39.00 - 39.45	39.45	SW	<i>Sand, grey, fine to medium grain sands, dense to very dense</i>	42.0
41.00 - 41.45	41.45			46.0
42.50 - 42.95	42.95	CL	<i>Silty clay, yellowish grey, medium plasticity, stiff</i>	19.0
44.00 - 44.45	44.45	SW	<i>Sand, grey, fine to medium grain sands, dense to very dense</i>	38.0
46.00 - 46.45	46.45			47.0
47.50 - 47.95	47.95	SW	<i>Sand, grey, fine to medium grain sands, dense to very dense</i>	39.0
49.00 - 49.45	49.45			45.0
51.00 - 51.45	51.45	SW	<i>Sand, grey, fine to medium grain sands, dense to very dense</i>	38.0
52.50 - 52.95	52.95			41.0
54.00 - 54.45	54.45	SW	<i>Sand, grey, fine to medium grain sands, dense to very dense</i>	47.0
56.00 - 56.45	56.45			50.0
57.50 - 57.95	57.95	SW	<i>Sand, grey, fine to medium grain sands, dense to very dense</i>	47.0
58.50 - 58.95	58.95			41.0
59.50 - 59.95	59.95	SW	<i>Sand, grey, fine to medium grain sands, dense to very dense</i>	46.0

Sumber : Data *Drilling Log* Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan

Berdasarkan Tabel 3.3, dapat diketahui bahwa jenis tanah pada titik BH.02 didominasi oleh jenis tanah *silt* dan *sands*. Namun, terdapat 2 (dua) lapisan dengan jenis tanah *clay* yang akan tetap dianalisis dan 1 (satu) lapisan dengan jenis tanah *gravels* yang tidak akan dianalisis.

Tabel 3.4 *Drilling Log* BH.03

Soil Investigation BRI Tower Medan				
Depth	z (m)	Symbol	Description	N-SPT
01.00 - 01.45	1.45	GP	Filling materials, mixture of gravels, cobbles, sand silt, grey to brown	3.0
03.00 - 03.45	3.45			4.0
04.00 - 04.45	4.45	CL	Silty clay, grey mottled brown, soft to medium stiff, with some sands	5.0
06.00 - 06.45	6.45			3.0
07.00 - 07.45	7.45			8.0
09.00 - 09.45	9.45	SC	Silty to clayey sand, fine to medium sand, brownish grey, loose	3.0
10.00 - 10.45	10.45			13.0
12.00 - 12.45	12.45	ML	Clayey silt, dark brown to dark grey, stiff with some sands	19.0
13.00 - 13.45	13.45			16.0
15.00 - 15.45	15.45	CL	Silty clay, greyish brown to greenish grey, hard with some sands	>50
16.00 - 16.45	16.45			>50
18.00 - 18.45	18.45	SP	Sand, fine to medium grey, medium dense with some clay and silt	24.0
19.50 - 19.95	19.95	SM	Silty sand, fine to medium grains sands, medium dense, dark brown	21.0
21.00 - 21.45	21.45			41.0
23.00 - 23.45	23.45			45.0
24.50 - 24.95	24.95			49.0
26.00 - 26.45	26.45			>50
28.50 - 28.95	28.95			27.0
29.50 - 29.95	29.95			36.0
31.00 - 31.45	31.45	SW	Sand, grey, dense to very dense, medium quartz grains	40.0
33.00 - 33.45	33.45			38.0
34.50 - 34.95	34.95			45.0
35.50 - 35.95	35.95			50.0
36.50 - 36.95	36.95			>50
37.50 - 37.95	37.95			38.0
38.50 - 38.95	38.95			40.0
39.50 - 39.95	39.95			>50

Sumber : Data *Drilling Log* Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan

Berdasarkan Tabel 3.4, dapat diketahui bahwa jenis tanah pada titik BH.03 didominasi oleh jenis tanah *silt* dan *sands*. Namun, terdapat 1 (satu) lapisan dengan jenis tanah *clay* yang akan tetap dianalisis dan 1 (satu) lapisan dengan jenis tanah *gravels* yang tidak akan dianalisis.

3.3 Evaluasi Potensi Likuifaksi Pada BH.01, BH.02, dan BH.03

Berdasarkan pada syarat-syarat terjadinya likuifaksi yang telah disebutkan sebelumnya serta dengan data-data yang ada, maka evaluasi potensi likuifaksi dapat dilakukan yaitu seperti pada Tabel 3.5 berikut :

Tabel 3.5 Evaluasi Potensi Likuifaksi Pada BH.01, BH.02, dan BH.03

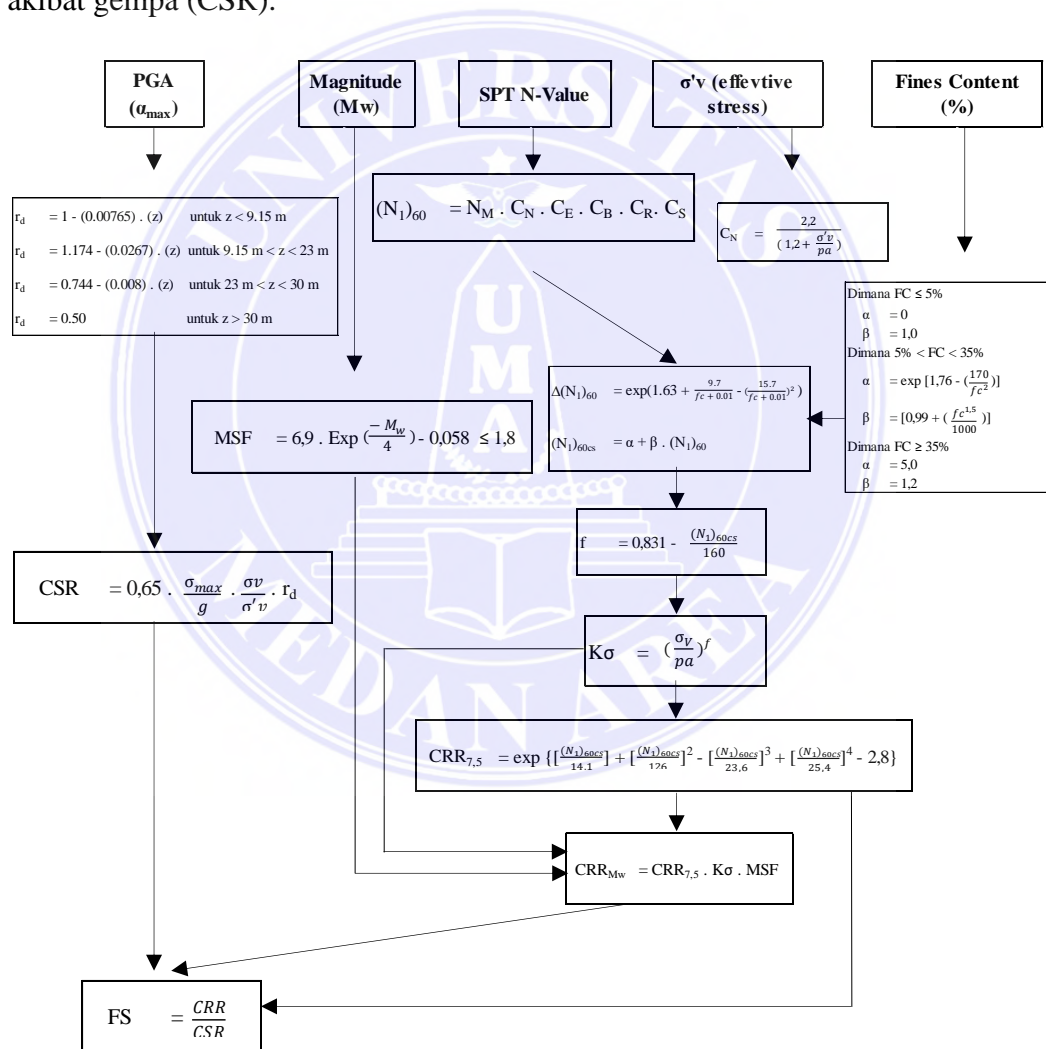
Syarat Terjadinya Likuifaksi	Titik <i>Bore Hole</i>		
	BH.01	BH.02	BH.03
Lapisan Tanah berupa Pasir (<i>sand</i>) atau Lanau (<i>silt</i>)	✓	✓	✓
Lapisan Tanah Jenuh Air	✓	✓	✓
Muka Air Tanah < 10 m, pada BH.01 = - 1.90 m	✓	✓	✓
Terjadi Gempa dengan Magnitudo > 5.0 SR	✓	✓	✓
Nilai <i>Peak Ground Acceleration</i> > 0.1 g			
- Berdasarkan Desain Spektra Indonesia Puskim PU = 0.3030 g	✓	✓	✓
- Berdasarkan SNI 01-1726-2002 = 0.15 g	✓	✓	✓
Kode : ✓ Memenuhi Syarat			
x Tidak Memenuhi Syarat			

Sumber : Hasil Evaluasi Potensi Likuifaksi, 2023

Berdasarkan Tabel 3.5 diatas, dapat dilihat bahwa pada titik *bore hole* BH.01, BH.02, dan BH.03 telah memenuhi syarat untuk dilakukannya analisis potensi likuifaksi. Pada titik BH.01 hingga BH.03, dominasi tanah pada laporan drilling log yang panulis dapatkan dari Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan didominasi oleh jenis tanah pasir dan lanau. Untuk persyaratan nomor 2 yaitu tanah jenuh air merupakan jenis tanah kohesif, yaitu jenis tanah yang memiliki sifat lekatan di antara butiran-butriannya. Jenis tanah kohesif sendiri contohnya yaitu lanau (*silt*) dan lempung (*clay*). Disamping itu, untuk jenis tanah pasir (*sand*) sendiri, dikarenakan tanah tersebut tidak dapat menyerap air dengan baik, maka air akan langsung mengalir ke permukaan sehingga dapat menyebabkan genangan ataupun likuifaksi.

3.4 Alur Perhitungan

Dalam penelitian ini digunakan metode kuantitatif untuk mengevaluasi potensi bahaya likuifaksi dengan menggunakan konsep metode perhitungan Youd-Idriss 2001 dan metode Idriss Boulanger 2008. Metode pada Gambar 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 3.2 Metode Youd-Idriss 2001 dan Idriss-Bowlanger 2008

Sumber : (Mase, L.Z., Studi Kehandalan Metode Analisis Likuifaksi Menggunakan SPT, 2018)

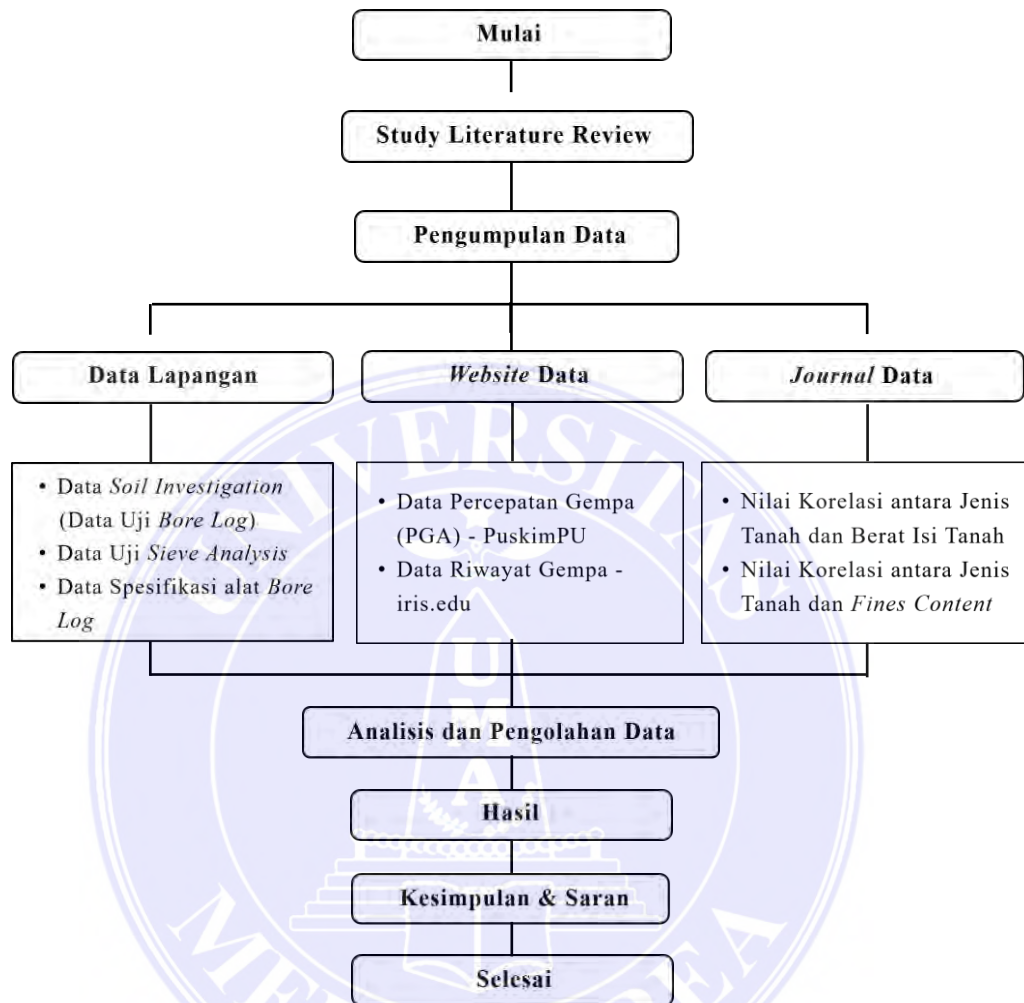
3.5 Tahapan Penelitian

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

Adapun tahapan persiapan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Melakukan *review* jurnal, buku maupun *thesis* yang terkait dengan analisa potensi likuifaksi.
2. Menentukan dan membuat daftar data-data yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian.
3. Melakukan pengumpulan data yang diperoleh dari perusahaan pelaksana Proyek Pembangunan Menara BRI Medan yaitu PT. Adhi 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.

3.6 Kerangka Berpikir



Gambar 3.3 Bagan Alir Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil pembahasan pada bab 4 sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan pada Tabel 4.58 tersebut diperoleh bahwasannya lapisan yang mengalami likuifaksi hanya di titik BH.01 dengan kedalaman 01.00 – 01.45 m jika terjadi gempa dengan magnitudo 8.0 SR menggunakan nilai referensi *peak ground acceleration* PuskimPU.
2. Selain dari lokasi yang disebutkan pada poin nomor 2 (dua) di atas, lapisan – lapisan lainnya tidak mengalami likuifaksi baik dihitung dengan menggunakan nilai referensi *peak ground acceleration* SNI 03-1726-2002 dan PuskimPU jika terjadi gempa dengan magnitudo 6.0 SR, 7.0 SR, 7.5 SR dan 8.0 SR.

5.2 Saran

Penelitian ini masih dapat dikembangkan dengan menghitung menggunakan berbagai aplikasi khusus seperti Edu Shake atau Pro Shake serta untuk memperoleh hasil yang lebih maksimal dapat digunakan hasil pengujian *sieve analysis* sebagai data tambahan perhitungan analisis potensi likuifaksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, K. 2010. Wilayah Risiko Bencana Gempa Bumi Pada Jalur Patahan Semangko Di Kabupaten Tanah Datar Provinsi Sumatera Bara, FMIPA UI.
- Badan Geologi. 2019. Atlas Zona Likuefaksi Indonesia, Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT SNI 4153:2008, Bandung.
- Baxter, S. J. 2000. Delaware Special Publication No. 23: Earthquake Basic. Geology, University of Delaware.
- BSN. 2002. SNI 03-1726-2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa. Badan Standar Nasional, 7798393(April).
- Butts, N. 1994. Soil Investigations. Developments in Geotechnical Engineering, 75(C), 60–104.
- California Department of Transportation. 2016. USCS Classification System. In Journal of Economic Literature (Vol. 54, Issue 4, pp. 1535–1550).
- Coe, J. 2022. Physical Properties of Soil.
- Das, B. M. 1995. Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik. Jilid II. Erlangga, Surabaya.
- Fattaah, B. Y. A., Sabri, L. M., & Awaluddin, M. 2020. Survei Deformasi Sesar Kaligarang Dengan Metode Survei GNSS Tahun 2019. Jurnal Geodesi Undip. 9(April).
- Fernando, N., & Prihatiningsih, A. 2019. Analisis Potensi Cyclic Mobility Pada Tanah Kohesif. JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil, 2(3), 77.
- Gill, M. 2022. Soil Texture Triangle.

- Idriss, I. M. 1982. Liquefaction of Soils During Earthquakes. In NATO Advanced Study Institutes Series, Series C: Mathematical and Physical Sciences (Vol. 92).
- Idriss, I. M., & Boulanger, R. W. 2008. Soil Liquefaction During Earthquakes (2nd Edition). Earthquake Engineering Research Institute.
- Kementrian ESDM. 2021. Skala MMI (Modified Mercally Intensity).
- Kouretzis, G. 2018. Fundamentals of Foundation Engineering and Their Applications (2018 Edition). University of Newcastle.
- Kusumawardani, R. (n.d.). Prosedur analisis liquefaction dengan menggunakan metode semi empiris. 1–10.
- Lonteng, C. V. D., Balamba, S., Monintja, S., & Sarajar, A. N. 2013. Analisis Potensi Likuifaksi di PT. PLN (Persero) UIP Sulmapa PLTU 2 Sulawesi Utara 2 X 25 MW Power Plan. *Jurnal Sipil Statik*, 1(11), 705–717.
- Malik, Y. 2013. Gempa Bumi. In Direktori UPI FPIPS.
- Mase, L. Z. 2018. Studi Keandalan Metode Analisis Likuifaksi Menggunakan SPT Akibat Gempa 8,6 Mw, 12 September 2007 di Area Pesisir Kota Bengkulu. *Jurnal Teknik Sipil*, 25(1), 53.
- Purba, D. T. 2020. Analisis Pengaruh Pre-Fabricated Vertical Drain Dalam Mempercepat Proses Konsolidasi Tanah Pada Proyek Perpanjangan Runway Bandar Udara Supadio, Pontianak. Institut Teknologi Kalimantan.
- Rahmadika, A. 2019. Analisis Potensi Likuifaksi di Kota Medan Berdasarkan Data Hasil CPT dengan Metode Percepatan Gempa Donovan. Universitas Brawijaya.

S., A. (Ega) M., & Nugraha, P. 2020. Mengenal Tentang Likuifaksi: Perspektif Geologi. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Wardhiny, B. K. 2014. Kajian Analisis Resiko Bencana Sesar Dalam Penyusunan Arah Pemanfaatan Ruang Berbasis Mitigasi Bencana Sesar (Studi Kasus Kecamatan Lembang). Universitas Islam Bandung.

Yi, F. 2014. Estimating Soil Fines Contents from CPT Data. Cpt' 14, April.

Zoomlion. 2015. ZR160A1 Specification. Zoomlion.



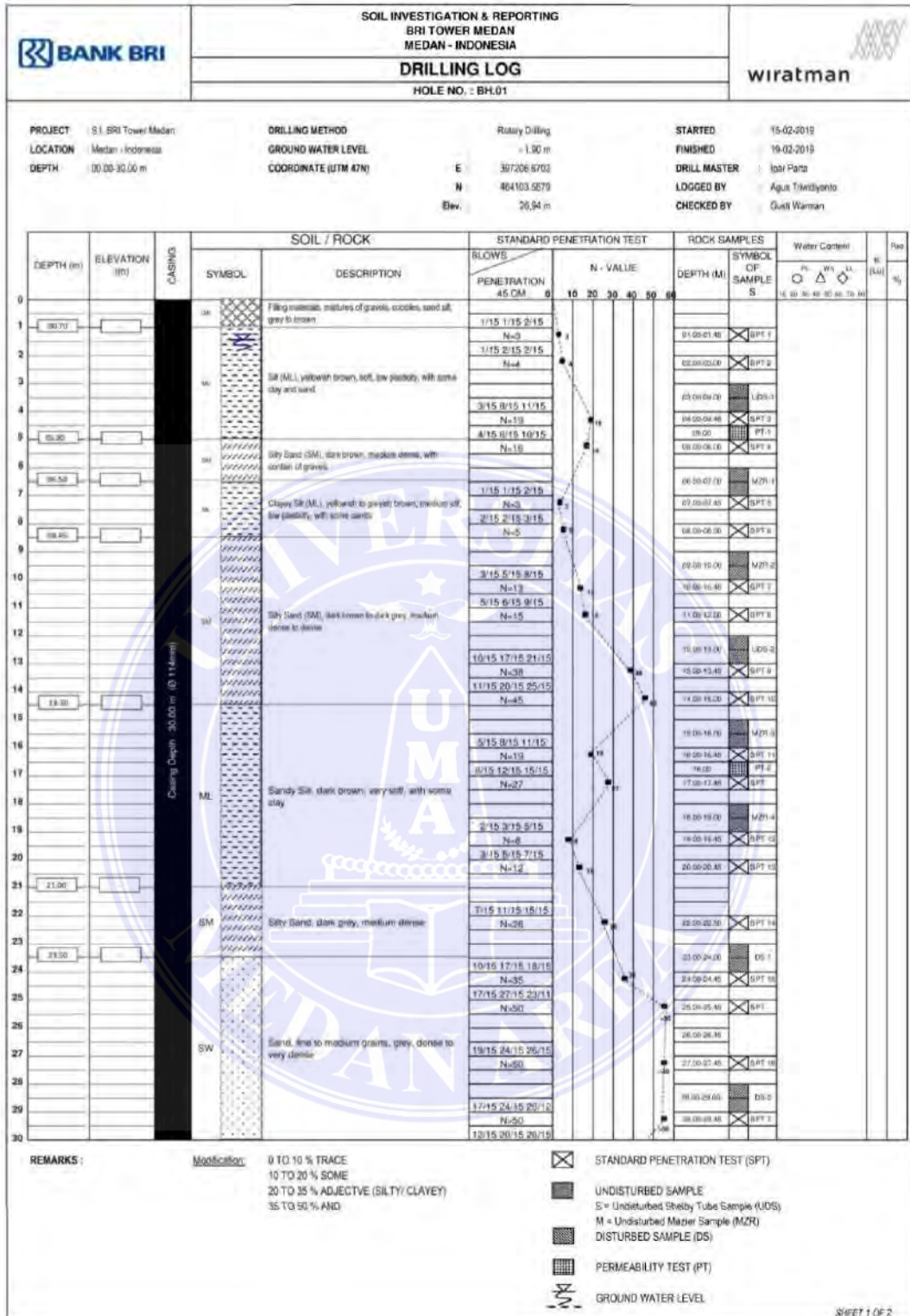
LAMPIRAN



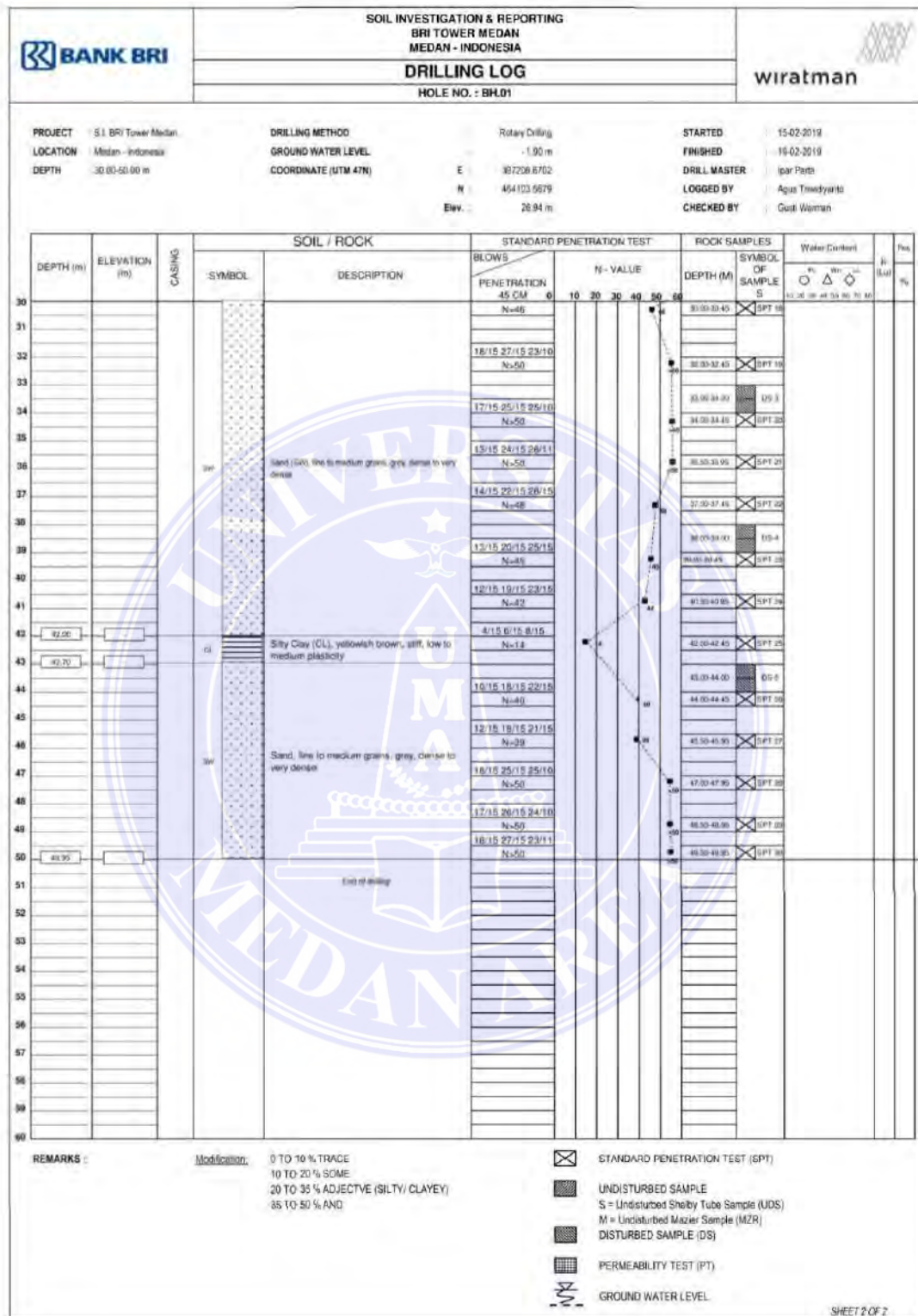
Gambar 1. *Bore Pile*



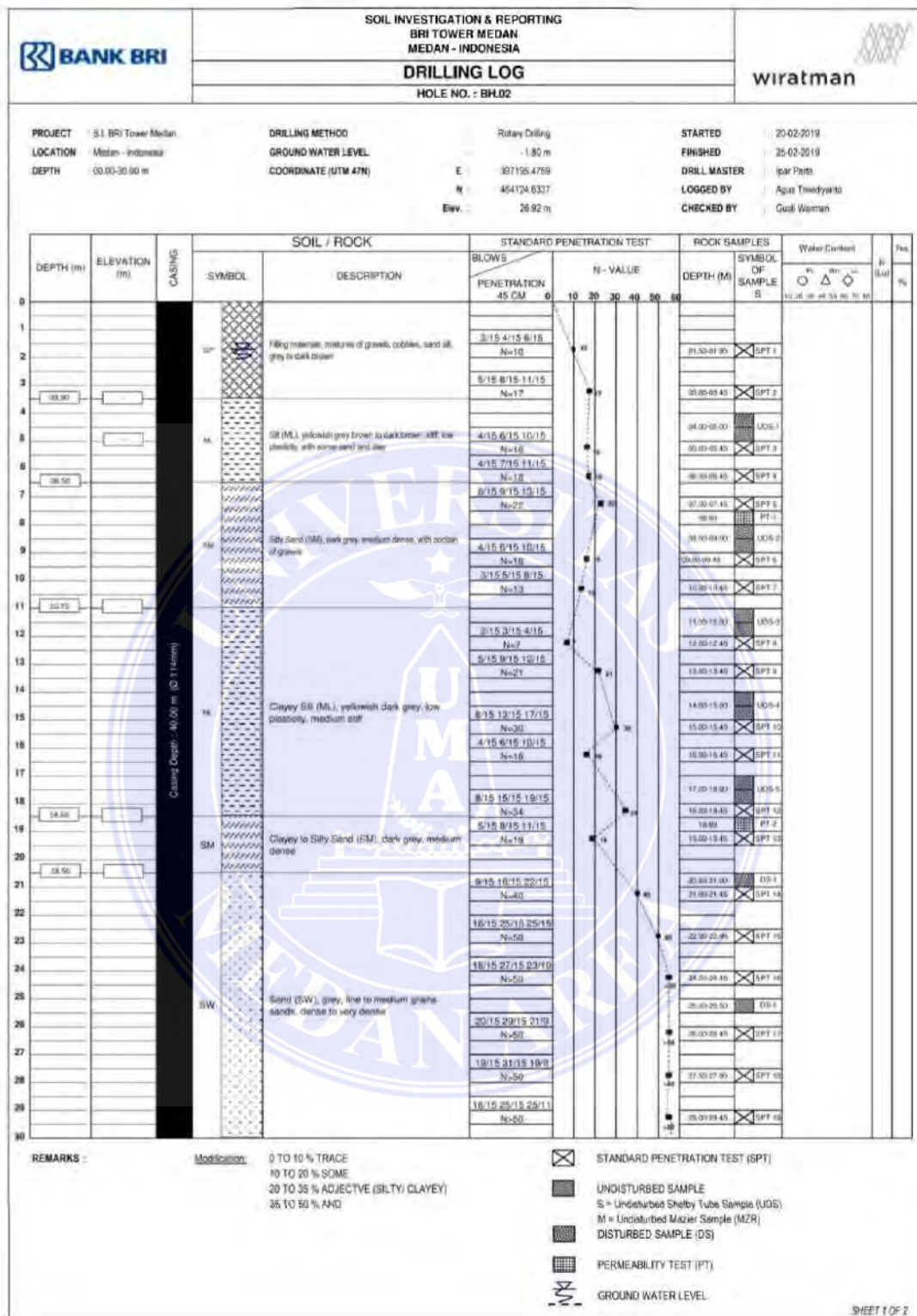
Gambar 2. *Drilling Rig ZR160-A*



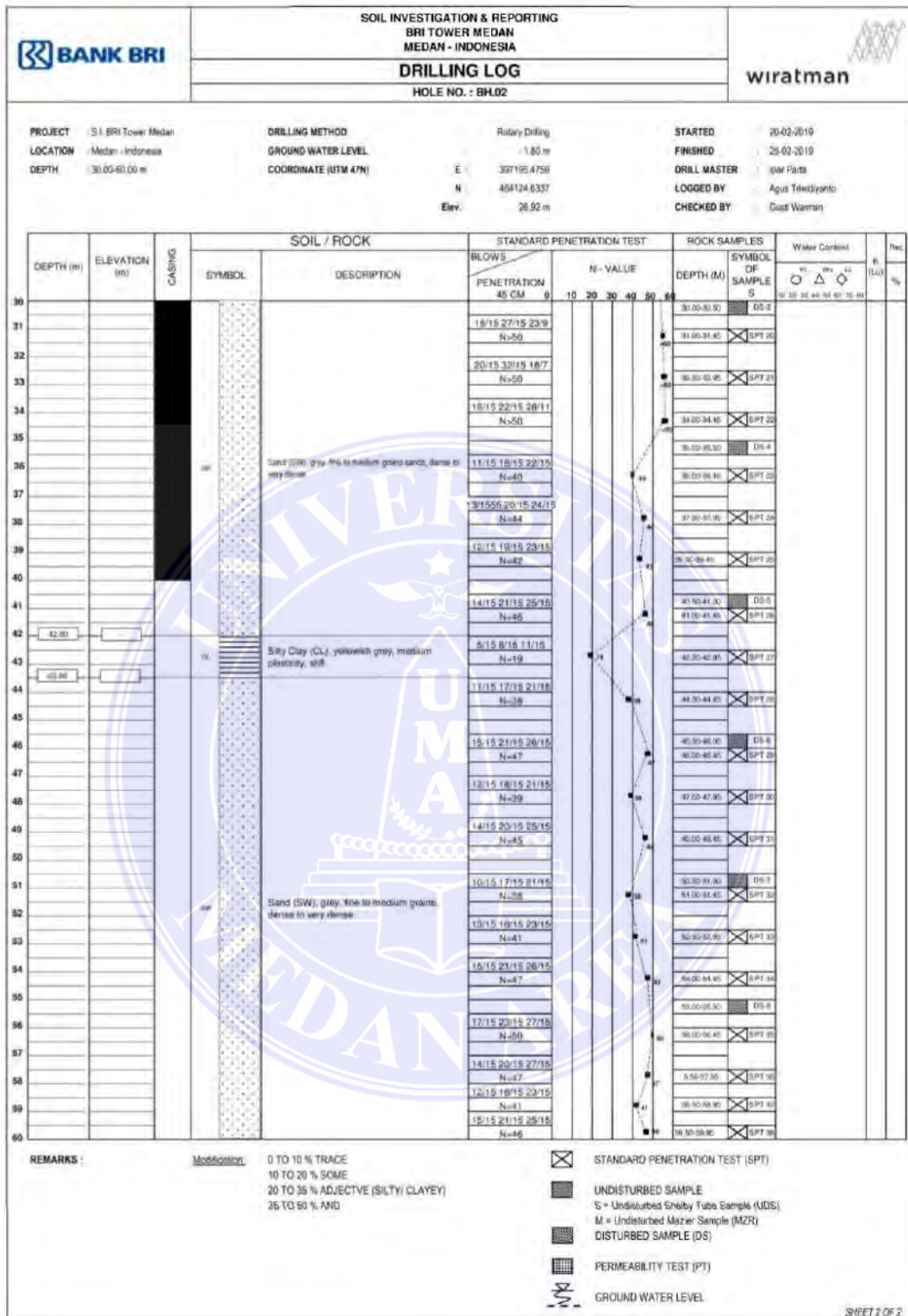
Gambar 3. Hasil Uji SPT BH.01



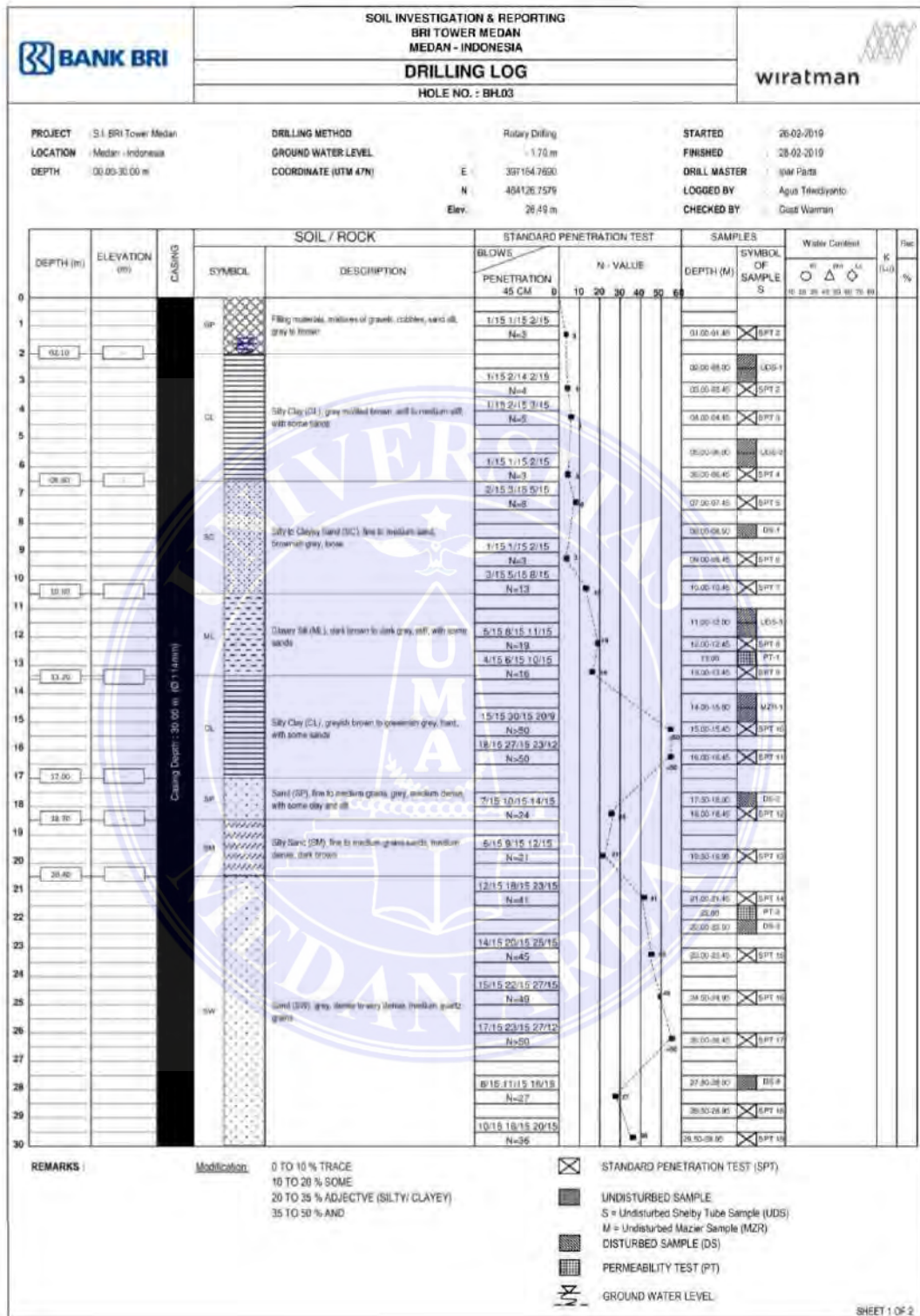
Gambar 4. Hasil Uji SPT BH.01



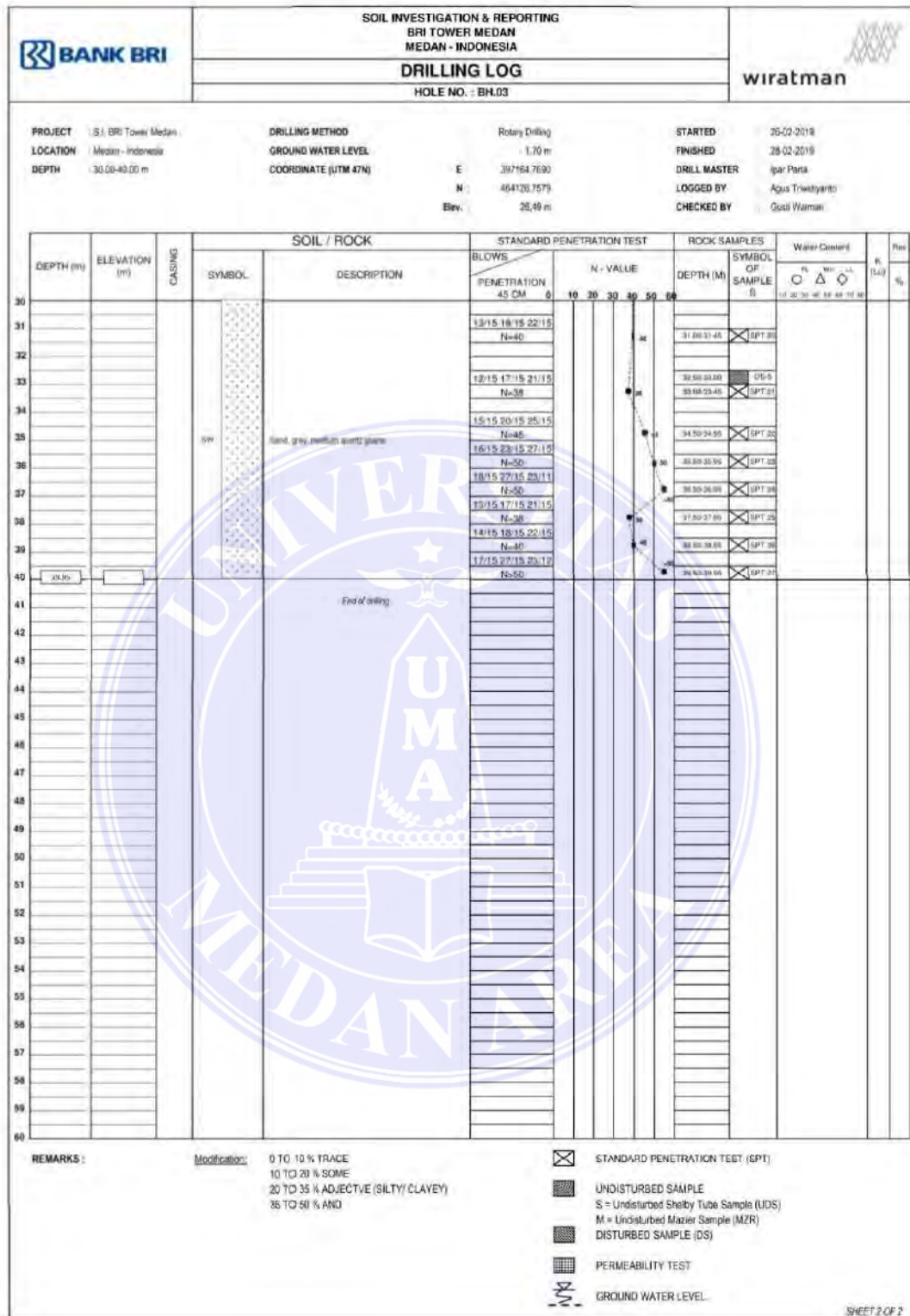
Gambar 5. Hasil Uji SPT BH.02



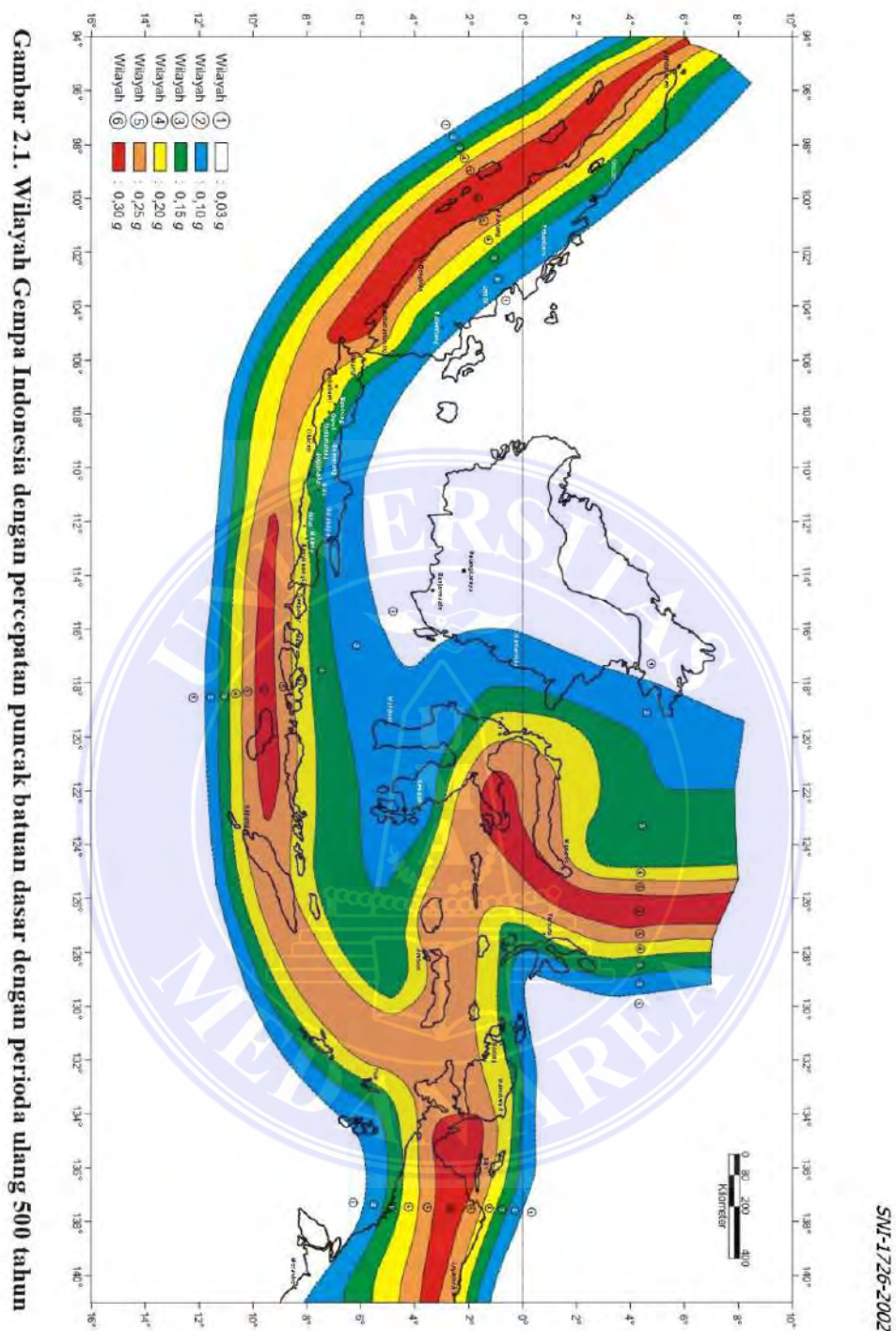
Gambar 6. Hasil Uji SPT BH.02



Gambar 7. Hasil Uji SPT BH.03



Gambar 8. Hasil Uji SPT BH.03



Gambar 10. SNI 03-1726-2002