

TUGAS AKHIR

**PENENTUAN INDEKS POTENSI DAN
PROBABILITAS LIKUEFAKSI BERDASARKAN DATA
SPT (STUDI KASUS: PROYEK PEMBANGUNAN
JALAN TOL JOGJA - BAWEN SEKSI 1, PAKET 1)
(*DETERMINATION OF LIQUEFACTION POTENTIAL
INDEX AND PROBABILITY BASED ON SPT DATA
(CASE STUDY: JOGJA - BAWEN TOLL ROAD
CONSTRUCTION SECTION 1, PACKAGE 1)*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Nadhia Salsabila
21511009**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025**

TUGAS AKHIR

PENENTUAN INDEKS POTENSI DAN PROBABILITAS LIKUEFAKSI BERDASARKAN DATA SPT (STUDI KASUS: PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL JOGJA - BAWEN SEKSI 1, PAKET 1) (DETERMINATION OF LIQUEFACTION POTENTIAL INDEX AND PROBABILITY BASED ON SPT DATA (CASE STUDY: JOGJA - BAWEN TOLL ROAD CONSTRUCTION SECTION 1, PACKAGE 1))

Disusun oleh

Nadhia Salsabila
21511009

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal
Oleh Dewan Penguji

Penguji I

Penguji II

Pembimbing

Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T.
NIP: 045110407

Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng.
NIP: 215111305

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIP: 215111307

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Ir. Yanalia Muntah, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), IPM.
NIP: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh bagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam laporan Tugas Akhir yang saya tulis. Maka saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 28 Mei 2025

Yang membuat pernyataan,




Salsabila

(21511009)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Penentuan Tingkat Potensi Likuefaksi Berdasarkan Metode Juang dkk (2008), Metode Sonmez dan Gokceoglu (2005), serta Indeks Potensi Likuefaksi (LPI). Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

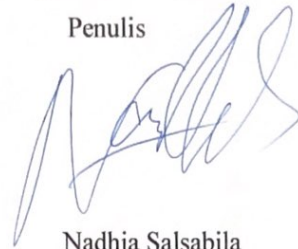
Terdapat banyak sekali hambatan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, namun dengan adanya saran, doa, dukungan dan bantuan dari berbagai pihak akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan mengucap rasa syukur sebanyak-banyaknya. Berkaitan dengan hal ini, penulis mengucapkan terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing,
2. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji I
3. Bapak Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II
4. Ibu penulis, Ibu Dwi Mariyati yang telah memberikan banyak dukungan serta doa pada penyelesaian Tugas Akhir ini,
5. Saudara kandung penulis, Roositta Tunggadewi dan Iqbal Mahardika yang telah memberikan semangat kepada penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini,
6. Keluarga besar penulis, yang telah memberikan dukungan serta doa kepada penulis,

Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membaca dan mencari referensi dalam penelitian ini.

Yogyakarta, 28 Mei 2025

Penulis



Nadhia Salsabila

21511009

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xii
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Penelitian Terdahulu	5
2.3 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya	7
BAB III LANDASAN TEORI	11
3.1 Tanah	11
3.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Ukuran Butiran	11
3.2.1 Klasifikasi Tanah Menurut USCS	13
3.3 Gempa Bumi	14
3.4 Likuefaksi	16
3.4.1 Faktor Terjadinya Likuefaksi	17
3.4.2 Bahaya Terjadinya Likuefaksi	18

3.5 Potensi Likuefaksi berdasarkan Distribusi Butiran	18
3.5.1 Karakteristik Butir-Butir Pasir	19
3.5.2 Kurva Distribusi	19
3.5.3 Analisis Distribusi Butir Tanah	20
3.6 Potensi Likuefaksi berdasarkan Data Lapangan	24
3.6.1 Metode CSR (<i>Cyclic Stress Ratio</i>)	25
3.6.2 Metode CRR (<i>Cyclic Resistance Ratio</i>)	28
3.6.3 Safety Factor (SF)	30
3.6.4 Potensi Likuefaksi berdasarkan <i>Liquifaction Potential Index</i> (LPI)	31
3.7 Probabilitas Potensi Likuefaksi	33
3.7.1 Probabilitas Potensi Likuefaksi berdasarkan Metode Juang, dkk (2008)	33
3.7.2 Probabilitas Potensi Likuefaksi berdasarkan Metode Sonmez dan Gokceoglu (2005)	34
BAB IV METODE PENELITIAN	36
4.1 Lokasi Penelitian	36
4.2 Tahapan Penelitian	36
4.2.1 Analisis Data Tanah	37
4.3 Bagan Alir Penelitian	37
BAB V PEMBAHASAN	40
5.1 Deskripsi Umum dan Lokasi Penelitian	40
5.2 Data Penyelidikan Tanah	40
5.3 Analisis Potensi Likuefaksi Berdasarkan Data Laboratorium	46
5.4 Analisis Potensi Likuefaksi Berdasarkan Data Lapangan	47
5.4.1 Metode <i>Cyclic Stress Ratio</i> (CSR)	48
5.4.2 Metode <i>Cyclic Resistance Ratio</i> (CRR)	55
5.4.3 <i>Safety Factor</i> (SF)	61
5.4.4 Tingkat Potensi Likuefaksi Metode <i>Liquifaction Potential Index</i> (LPI)	62
5.5 Probabilitas Potensi Likuefaksi	64
5.5.1 Probabilitas Potensi Likuefaksi Metode Juang dkk (2008)	64
5.5.2 Tingkat Potensi Likuefaksi Sonmez dan Gockceoglu	66

5.6 Pembahasan Hasil Analisis	67
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	74
6.1 Kesimpulan	74
6.2 Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang	8
Tabel 3.1	Klasifikasi Butiran Menurut Unifed, ASTM, MIT, Nomenclature dan International Nomenclature Berdasarkan Ukuran Butiran	12
Tabel 3.2	Koefisien Situs (F_{GPA})	15
Tabel 3.3	Ukuran Diameter Saringan Standar ASTM	20
Tabel 3.4	Korelasi Nilai N Dengan Konsistensi Tanah	26
Tabel 3.5	Korelasi N -SPT dengan Berat Volume Tanah	27
Tabel 3.6	Tabel Faktor Koreksi untuk $(N_1)_{60}$	29
Tabel 3.7	Klasifikasi Probabilitas Likuefaksi	32
Tabel 3.8	Klasifikasi Nilai ΣLPI	33
Tabel 3.9	Klasifikasi Probabilitas Likuefaksi Metode Juang dkk (2008)	34
Tabel 3.10	Klasifikasi Probabilitas Likuefaksi Metode Sonmez dan Gokceoglu	34
Tabel 5.1	Data Hasil Pengujian Distribusi Saringan Titik BH-AK-01	41
Tabel 5.2	Data Hasil Pengujian Distribusi Saringan Titik BH-AK-02	41
Tabel 5.3	Hasil Analisis Gradasi Tanah Titik BH-AK-02	43
Tabel 5.4	Hasil Analisis Gradasi Tanah Titik BH-AK-02	43
Tabel 5.5	Rekapitulasi Perhitungan C_u dan C_c	44
Tabel 5.6	Hasil Pengujian SPT	45
Tabel 5.7	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tegangan Efektif	50
Tabel 5.8	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai Koefisien Tegangan Reduksi berdasarkan kedalaman (z).	52
Tabel 5.9	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai CSR	54
Tabel 5.10	Rekapitulasi Hasil Perhitungan $(N_1)_{60}$	56
Tabel 5.11	Rekapitulasi Hasil Perhitungan $(N_1)_{60CS}$	58
Tabel 5.12	Rekapitulasi Hasil Perhitungan $CRR_{7,5}$	60
Tabel 5.13	Rekapitulasi Hasil Perhitungan SF	62
Tabel 5.14	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tingkat Potensi Likuefaksi Berdasarkan Metode LPI	63
Tabel 5.15	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tingkat Potensi Likuefaksi Berdasarkan Metode Juang (2008)	65
Tabel 5.16	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tingkat Potensi Likuefaksi Berdasarkan Metode Sonmez dan Gockeoglu (2005)	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Peta Percepatan Gempa di Indonesia	16
Gambar 3.2	Distribusi Butir Tanah yang Rentan Terhadap Likuefaksi	19
Gambar 4.1	Peta Lokasi Penelitian	36
Gambar 4.2	<i>Flowchart</i> Penelitian	38
Gambar 5.1	Lokasi Penelitian	40
Gambar 5.2	Grafik Distribusi Analisa Saringan BH-AK-01	42
Gambar 5.3	Grafik Distribusi Analisa Saringan BH-AK-02	43
Gambar 5.4	Hasil Grafik Distribusi Analisa Saringan dan Kurva Tsuchida Titik BH-AK-01	46
Gambar 5.5	Hasil Grafik Distribusi Analisa Saringan dan Kurva Tsuchida Titik BH-AK-02	47
Gambar 5.6	Spektrum Respons Desain	48
Gambar 5.7	Grafik Nilai CSR dan CRR pada Titik BH-AK-01	68
Gambar 5.8	Grafik Nilai CSR dan CRR pada Titik BH-AK-02	69
Gambar 5.9	Grafik Nilai Safety Factor pada Titik BH-AK-01 dan BH-AK-02	69
Gambar 5.10	Grafik Nilai LPI pada Titik BH-AK-01 dan Titik BH-AK-02	70
Gambar 5.11	Barchart Σ LPI Pada Titik BH-AK-01 dan BH-AK-02	70
Gambar 5.12	Hasil Grafik Probabilitas Likuefaksi Titik BH-AK-01	71
Gambar 5.13	Hasil Grafik Probabilitas Likuefaksi Titik BH-AK-02	72

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Uji Laboratorium

Lampiran 2 Tabel Rekapitulasi Hasil Analisis

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

CRR	= <i>Cyclic Resistance Ratio</i>
CSR	= <i>Cyclic Stress Ratio</i>
SPT	= <i>Standard Penetration Test</i>
CPT	= <i>Cone Penetratio Test</i>
V_s	= Kecepatan Geser (s^{-1})
MCE_G	= Percepatan Puncak Maksimum (m/s^2)
PGA_M	= Percepatan Tanah Puncak (m/s^2)
F_{GPA}	= Koefisien Situs
SA	= Tanah Keras
SB	= Batuan
SC	= Tanah Keras Sangat Padat
SD	= Tanah Sedang
SE	= Tanah Lunak
SF	= Tanah Khusus
PI	= Indeks Plastis (%)
W_f	= Berat Sampel Lolos Saringan (gram)
W_t	= Berat Sampel Total (gram)
$\sum d$	= Berat Sampel Tertahan Saringan (gram)
P	= Persen Lolos Saringan (%)
D	= Diameter (mm)
η	= Viskositas cairan air ($g \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1}$)
g	= Gravitasi (cm/s^2)
G_s	= Berat jenis partikel tanah
t	= Waktu sejak awal pengendapan (s)
C_u	= Koefisien Keseragaman
C_c	= Koefisien Gradasi

D_{60}	= Ukuran Lubang Saringan dimana 60% Butiran Tanah Lolos pada Saringan (mm)
D_{10}	= Ukuran Efektif, Ukuran Lubang Saringan dimana 10% Butiran Tanah Lolos pada Saringan (mm)
D_{30}	= Ukuran Lubang Saringan dimana 30% Butiran Tanah lolos pada Saringan (mm)
LL	= <i>Liquid Limit</i> (%)
PL	= <i>Plastic Limit</i> (%)
PI	= <i>Plasticity Index</i> (%)
a_{maks}	= Percepatan Puncak Horizontal pada Tanah Akibat Gempa (m/s^2)
σ'_{vc}	= Tegangan Efektif Vertikal saat Terjadi Konsolidasi (kN/m^2)
σ_{vc}	= Tegangan Total Vertikal saat Terjadi Konsolidasi (kN/m^2)
r_d	= Koefisien Tegangan Reduksi
γ	= Berat Satuan Tanah (kN/m^3)
z	= Kedalaman dari Permukaan Tanah (m)
μ	= Tekanan Air Pori (kN/m^2)
γ_w	= Berat Volume Air (kN/m^3)
H	= Tebal Lapisan Tanah (m)
$(N_1)_{60}$	= Nilai SPT Terkoreksi Terhadap Pengaruh Efisiensi Tenaga 60%
C_N	= Faktor Koreksi Terhadap Tegangan Vertikal Efektif
C_E	= Faktor Koreksi Terhadap Rasio Tenaga Palu (ER)
C_B	= Faktor Koreksi Terhadap Diameter Bor
C_R	= Faktor Koreksi untuk Panjang Batang SPT
C_S	= Faktor Koreksi Terhadap Tabung Contoh (samplers) dengan atau Tanpa Pelapis
P_a	= 100 kN/m^2
SF	= <i>Safety Factor</i>

P_L	=	Nilai Probabilitas Likuefaksi (%)
LPI	=	<i>Liquifaction Potential Index</i>
H	=	Kedalaman (m)
F	=	Faktor Keamanan pada Tanah yang Likuefaksi
$w(z)$	=	Faktor Beban yang dipengaruhi Kedalaman
ΣLPI	=	Total Nilai LPI
$LPI_{1,5}$	=	Nilai LPI pada Kedalaman 1,5
LPI_i	=	Nilai LPI pada Kedalaman i
$LPI_{19,5}$	=	Nilai LPI pada Kedalaman 19,5

ABSTRAK

Proyek Pembangunan Jalan Tol-Jogja - Bawen Paket 1 Seksi 1 melintasi wilayah yang berada dekat dengan Sesar Opak, dimana secara geologis memiliki risiko tinggi terhadap gempa bumi dan potensi likuefaksi. Likuefaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan tanah akibat adanya peningkatan tekanan air pori saat terjadi getaran seismik. Berdasarkan kondisi tersebut, dirumuskan permasalahan mengenai bagaimana potensi likuefaksi berdasarkan distribusi ukuran butiran tanah, data SPT, nilai Liquefaction Potential Index (LPI), dan probabilitas likuefaksi menggunakan metode-metode tertentu. Sehingga, dipilih judul “Penentuan Potensi Likuefaksi Berdasarkan Metode NCEER, Indeks LPI, dan Probabilitas Likuefaksi Menggunakan Metode Juang dkk (2008), dan Metode Sonmez dan Gokceoglu (2005)” dengan tujuan untuk mengevaluasi tingkat potensi likuefaksi di lokasi tersebut.

Metode yang digunakan untuk menentukan potensi likuefaksi antara lain adalah analisis distribusi ukuran butiran menggunakan Kurva Tsuchida (1970), analisis data lapangan *Standard Penetration Test* (SPT) untuk menghitung nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR), serta penentuan tingkat likuefaksi melalui perhitungan *Liquefaction Potential Index* (LPI). Selain itu, dilakukan pula analisis probabilitas likuefaksi menggunakan Metode Juang dkk (2008) dan Metode Sonmez dan Gokceoglu (2005), untuk mendapatkan gambaran tingkat risiko likuefaksi berdasarkan data SPT.

Hasil analisis menunjukkan bahwa beberapa lapisan tanah pada kedalaman tertentu termasuk dalam kategori sangat rentan terhadap likuefaksi menurut Kurva Tsuchida. Berdasarkan perbandingan nilai CSR dan CRR, ditemukan nilai *Safety Factor* (SF) < 1 pada beberapa kedalaman, menandakan potensi likuefaksi. Nilai LPI yang diperoleh di kedua titik penelitian (BH-AK-01 dan BH-AK-02) menunjukkan tingkat potensi likuefaksi sedang hingga tinggi. Selain itu, probabilitas likuefaksi yang dihitung menggunakan metode Juang dkk (2008) dan Sonmez dan Gokceoglu (2005) mengindikasikan adanya risiko tinggi terjadinya likuefaksi, terutama di titik BH-AK-01.

Kata kunci: Potensi Likuefaksi, SPT, Kurva Tsuchida, LPI, Probabilitas Likuefaksi

ABSTRACT

The Jogja-Bawen Toll Road Construction Project, Section 1 Package 1, crosses an area near the Opak Fault, which is geologically susceptible to earthquake and liquefaction hazards. Liquefaction is a phenomenon where soil loses its strengths due to increased pore water pressure triggered by seismic shaking. Based on these conditions, the study formulated problems regarding the liquefaction potential based on grain size distribution, SPT data, the Liquefaction Potential Index (LPI) value, and the liquefaction probability using several specific methods. Therefore, the title “Determination of Liquefaction Potential Based on NCEER Method, LPI Index, and Liquefaction Probability Using Juang dkk (2008) Method, and Sonmez dan Gokeoglu (2005) Method” was chosen, aiming to assess the liquefaction potential level in the study area.

The methods used to determine the liquefaction potential included grain size distribution analysis using the Tsuchida Curve (1970), field data analysis from the Standard Penetration Test (SPT) to calculate the Cyclic Stress Ratio (CSR) and Cyclic Resistance Ratio (CRR), and the evaluation of liquefaction potential through the Liquefaction Potential Index (LPI). In addition, the liquefaction probability was analyzed using the Juang dkk (2008) and Sonmez dan Gokceoglu (2005) methods based on SPT data, to obtain an overview of the risk level.

The analysis result shows that certain soil layers at specific depth fall into the very liquefiable category according to the Tsuchida Curve. Based on the comparison between CSR and CRR values, Safety Factor (SF) values less than 1 were found at several depths, indicating a potential for liquefaction. LPI Values obtained at both investigation points (BH-AK-01 and BH-AK-02) indicate moderate to high liquefiable potential. Moreover, liquefaction probability calculations using the Juang dkk (2008) and Sonmez dan Gokceoglu (2005) methods indicate a high risk of liquefaction, especially at point BH-AK-01.

Keyword: *Liquefaction Potential, SPT, Tsuchida Curve, LPI*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Likuefaksi merupakan salah satu fenomena geoteknik, di mana tanah kehilangan kekuatan dan kekakuannya akibat peningkatan tekanan pori yang diakibatkan oleh getaran seismik, sehingga tanah tersebut berperilaku seperti cairan. Salah satu wilayah di Indonesia yang rentan terhadap likuefaksi adalah daerah di sekitar Sesar Opak.

Sesar Opak juga dikenal sebagai Patahan Opak yang merupakan sesar geser aktif yang melintasi wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah. Sesar ini membentang di wilayah Kabupaten Bantul, Kabupaten Sleman, yang tentunya merupakan wilayah Proyek Pembangunan Jalan Tol Jogja-Bawen Paket 1 Seksi 1 (Sugianto dkk., 2020). Salah satu sejarah gempa yang pernah terjadi yaitu gempa pada tahun 2006, menunjukkan betapa rawannya daerah ini terhadap guncangan seismik yang kuat. Akibat gempa tersebut, banyak bangunan, termasuk bangunan publik seperti sekolah, rumah sakit, dan gedung pemerintahan, mengalami kerusakan signifikan. Kerentanan ini diperburuk oleh karakteristik tanah di wilayah tersebut (Soeharno dkk., 2007)

Daerah yang mendapatkan aliran material vulkanik dari Gunung Merapi, seperti daerah di sekitar Sesar Opak, memiliki karakteristik tanah yang unik. Material vulkanik yang dibawa oleh aliran ini terutama terdiri dari endapan piroklastik dan pasir. Akumulasi pasir vulkanik ini menyebabkan tanah di wilayah tersebut menjadi berpasir dan longgar. Sifat tanah yang berpasir ini sangat mempengaruhi stabilitas tanah, terutama saat terjadi getaran seismik. Tanah berpasir cenderung memiliki kohesi yang rendah dan mudah mengalami peningkatan tekanan pori ketika diguncang oleh gempa bumi. Akibatnya, potensi terjadinya likuefaksi di daerah ini meningkat secara signifikan.

Salah satu gempa bumi besar yang terjadi di Indonesia pada tahun 2006 adalah gempa bumi Yogyakarta, yang mencapai magnitudo 6,3 skala Richter.

Gempa ini menyebabkan kerusakan besar di Yogyakarta dan daerah sekitarnya, seperti Bantul, Sleman, dan Proyek Pembangunan Jalan Tol Jogja-Bawen Paket 1 Seksi 1. Mengingat karakteristik tanah di wilayah tersebut yang banyak terdiri dari endapan aluvial dan pasir jenuh air, sangat penting untuk mempertimbangkan kemungkinan likuefaksi pada gempa ini. Likuefaksi terjadi ketika tanah berbutir halus atau berpasir yang jenuh air kehilangan kekuatan akibat guncangan seismik, menyebabkan tanah berperilaku seperti cairan. Fenomena ini dapat menyebabkan penurunan tanah, keruntuhan struktur, dan kerusakan infrastruktur. Likuefaksi terjadi di beberapa tempat, terutama di sepanjang sungai dan dataran rendah, menurut penelitian yang dilakukan oleh berbagai peneliti setelah gempa Yogyakarta tahun 2006.

Keberadaan bangunan publik di daerah yang rawan gempa, seperti di sekitar Sesar Opak, khususnya di wilayah tersebut, menjadi faktor penting yang mendorong untuk dilakukannya analisis potensi terjadinya likuefaksi. Kerusakan atau kehancuran bangunan publik akibat likuefaksi akan berdampak besar pada keselamatan, serta menghambat upaya penanganan bencana.

Dalam melakukan analisis potensi likuefaksi pada wilayah ini, digunakan beberapa metode analisis. Penilaian *safety factor* (SF) yang dilakukan menggunakan metode NCEER, dengan nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) berdasarkan metode Youd dan Idriss, sedangkan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) menggunakan metode Seed dan Idriss. Selain itu, dilakukan juga analisis untuk menghitung kerentanan likuefaksi menggunakan metode *Liquefaction Potential Index* (LPI). Dilakukan juga perhitungan probabilitas likuefaksi dengan metode Juang dkk (2008) serta Sonmez dan Gockceoglu (2005) yang mempertimbangkan faktor geologi, seismik, dan karakteristik tanah secara menyeluruh.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana potensi likuefaksi di wilayah Proyek Pembangunan Jalan Tol Jogja-Bawen Paket 1 Seksi 1 berdasarkan distribusi ukuran butiran menggunakan Kurva Tsuchida (1970)?

2. Bagaimana potensi likuefaksi berdasarkan data SPT di wilayah Proyek Pembangunan Jalan Tol Jogja-Bawen Paket 1 Seksi 1 dengan perbandingan CRR dan CSR berdasarkan Metode NCEER?
3. Bagaimana indeks potensi likuefaksi berdasarkan LPI?
4. Bagaimana probabilitas likuefaksi menggunakan Metode Juang dkk (2008), Sonmez dan Gokceoglu (2005) antar kedua titik?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan potensi likuefaksi di wilayah Proyek Pembangunan Jalan Tol Jogja-Bawen Paket 1 Seksi 1 berdasarkan distribusi ukuran butiran menggunakan Kurva Tsuchida (1970),
2. Menganalisis potensi likuefaksi berdasarkan data SPT dengan menggunakan perbandingan CRR dan CSR berdasarkan Metode NCEER,
3. Menganalisis potensi tingkat potensi likuefaksi berdasarkan LPI,
4. Menganalisis tingkat potensi likuefaksi menggunakan Metode Juang dkk (2008), Sonmez dan Gokceoglu (2005) dan perbandingan antar kedua titik.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan penulis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah pengetahuan penulis mengenai potensi likuefaksi,
2. Mengetahui potensi likuefaksi di wilayah Proyek Pembangunan Jalan Tol Jogja-Bawen Paket 1 Seksi 1 dengan distribusi butir dan data lapangan,
3. Menambah pengetahuan bagi pembaca.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah yang dianalisis adalah sebagai berikut:

1. Data hasil tanah yang digunakan merupakan data tanah titik BH-AK-01 dan BH-AK-02 pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Jogja-Bawen Paket 1 Seksi 1,
2. Menganalisis potensi likuefaksi berdasarkan distribusi ukuran butiran dengan menggunakan kurva Tsuchida (1970),

3. Menganalisis potensi likuefaksi dengan menggunakan perbandingan nilai CRR dan CSR dengan Metode NCEER,
4. Menggunakan rasio ketahanan tanah terhadap pembebanan siklik akibat gempa dengan magnitudo 7,5,
5. Menggunakan Metode Juang dkk (2008), Sonmez dan Gokceoglu (2005) untuk penentuan probabilitas potensi likuefaksi.
6. Kesimpulan analisis potensi likuefaksi berdasarkan hasil dari analisis distribusi ukuran butiran dengan Kurva Tsuchida, Metode NCEER, dan indeks LPI. Serta, probabilitas potensi likuefaksi menurut Metode Juang dkk (2008) dan Sonmez dan Gokceoglu (2005).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Likuefaksi adalah proses di mana tanah kehilangan kekuatannya secara tiba-tiba akibat getaran gempa atau guncangan lainnya, yang menyebabkan penurunan kekuatan dan daya dukung tanah (Idriss dan Boulanger, 2008). Fenomena ini mengakibatkan penurunan permukaan tanah yang dapat menyebabkan kerusakan serius pada bangunan yang berdiri di atasnya (Youd dan Garriss, 1995). Likuefaksi terutama terjadi pada tanah berpasir yang lepas dan jenuh air, di mana getaran menyebabkan tanah memadat dan volume rongga pori berkurang, mengakibatkan peningkatan tekanan air pori (Towhata, 2008). Ketika tekanan air pori ini menyamai tegangan total dalam tanah, tegangan efektif menjadi nol, membuat tanah kehilangan kekuatan gesernya dan berperilaku seperti cairan kental. Untuk menganalisis potensi likuefaksi, digunakan metode pengujian lapangan seperti uji penetrasi standar (SPT), uji penetrasi konus (CPT), dan pengukuran kecepatan geser (V_s).

2.2 Penelitian Terdahulu

Dalam proses penelitian, perlu adanya studi banding terhadap penelitian-penelitian sebelumnya, sebab dapat dijadikan sebagai bahan acuan oleh penulis dalam melakukan penelitian. Peninjauan terhadap penelitian terdahulu bertujuan untuk menemukan hal-hal yang relevan yang terkait dengan penelitian yang akan dilakukan oleh penulis. Dengan adanya peninjauan ini, penulis dapat melakukan komparasi objek penelitian sehingga tidak terjadi pengulangan penelitian yang akan dilakukan. Adapun beberapa hasil penelitian yang pernah dilakukan adalah sebagai berikut.

Hasbi (2021) melakukan penelitian mengenai potensi likuefaksi berdasarkan data SPT dan CPT, pada penelitian tersebut, peneliti melakukan analisis potensi likuefaksi dilakukan dengan menghitung nilai CRR dan CSR berdasarkan data SPT

serta CPT pada wilayah tersebut, Dengan menghitung nilai CRR serta CSR, peneliti dapat menghitung besar nilai SF, yang menentukan apakah wilayah tersebut mengalami potensi likuefaksi atau tidak. Penelitian yang dilakukan oleh Hasbi, berjudul berjudul “Analisis Potensi Likuefaksi Berdasarkan Data SPT dan CPT” menjelaskan bahwa likuefaksi terjadi apabila suatu pasir yang tersaturasi strukturnya terpecah akibat adanya pembebanan yang berlebihan dan terus-menerus. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi likuefaksi pada Proyek KA Bandara New International Yogyakarta Airport (NYIA). Berdasarkan analisis perhitungan yang telah dilakukan, melalui beberapa titik pengujian tanah di Proyek KA NYIA menghasilkan potensi likuefaksi yang berbeda-beda pada tiap kedalaman yang bervariasi.

Prayitno (2021) melakukan penelitian mengenai potensi likuefaksi berdasarkan distribusi ukuran butir tanah dan data CPT, pada penelitian tersebut peneliti melakukan pengujian berupa analisis saringan dan analisis hydrometer, kemudian hasil penelitian dianalisis menurut Youd dan Gilstrap, 1999 yang kemudian diplotkan ke dalam Kurva Tsuchida (1970), kemudian peneliti menganalisis nilai CSR menggunakan data CPT dengan persamaan Seed dan Idriss, 1971, selanjutnya peneliti menganalisis nilai CRR dan kemudian dapat ditentukan nilai SF untuk mengetahui keamanan tanah. Selain itu, peneliti juga memprediksi tingkat potensi likuefaksi berdasarkan nilai LPI. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi likuefaksi berdasarkan distribusi ukuran butir tanah dan data CPT di kawasan Rumah Sakit UII Desa Wijirejo, Bantul, DIY. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, pada kawasan Rumah Sakit UII Desa Wijirejo, Bantul, DIY mengalami potensi likuefaksi dengan kategori yang sangat tinggi.

Shiddiqie (2022) melakukan penelitian mengenai analisis potensi likuefaksi dengan beberapa metode berdasarkan data N-SPT dengan berbagai macam variasi magniyudo gempa. Peneliti melakukan perhitungan nilai CRR dan CSR menggunakan data SPT di lapangan dengan variasi gempa yang berbeda. Analisis potensi likuefaksi dilakukan menggunakan tiga persamaan, yaitu persamaan Seed dkk (1985), Cetin dkk (2004), dan *Hyperbolic Function* (2012). Dari ketiga

persamaan didapatkan nilai SF yang digunakan untuk menentukan apakah wilayah tersebut mengalami potensi likuefaksi atau tidak. Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi likuefaksi yang terjadi pada proyek Jembatan Kretek II yang berlokasi di Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Peneliti melakukan perbandingan hasil SF dari ketiga persamaan dan menemukan bahwa potensi likuefaksi yang berbeda-beda tergantung variasi gempa yang digunakan.

Fahsa (2022) melakukan penelitian analisis potensi likuefaksi berdasarkan data pengujian N-SPT. Manfaat penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi likuefaksi pada Proyek Pembangunan Jembatan Kenet di Kecamatan Imogiri, Kabupaten Bantul. Penelitian ini dilakukan dengan menghitung nilai CSR dan CRR dengan metode NCEER (1996) menggunakan data SPT. Setelah ditemukannya nilai CRR dan CSR, peneliti menghitung besar nilai faktor keamanan yang menunjukkan potensi likuefaksi pada daerah tersebut. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan didapatkan hasil terjadinya potensi likuefaksi pada titik 1 dan tidak terjadi likuefaksi pada titik 2.

Madani (2023) melakukan penelitian mengenai pengaruh percepatan maksimum. Penelitian ini dilakukan dengan *metode Deterministic Seismic Hazard Analysis* (DSHA) untuk menemukan nilai percepatan maksimum gempa (a_{max}), kemudian nilai tersebut digunakan untuk menganalisis nilai CSR dengan *software* EERA. Selain itu peneliti juga menganalisis nilai CSR dan CRR ini menggunakan data SPT. Setelah nilai CSR dan CRR diperoleh, nilai tersebut digunakan untuk menghitung nilai SF, sehingga potensi likuefaksi dapat diketahui. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menemukan bahwa potensi likuefaksi dengan pengaruh nilai percepatan maksimum gempa terjadi pada kedalaman yang berbeda di dua titik.

2.3 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Perbandingan penelitian yang akan dilakukan penulis dengan penelitian sebelumnya akan disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang

Aspek	Penelitian yang telah dilakukan					Penelitian yang akan dilakukan
Peneliti	Hasbi (2021)	Prayitno (2021)	Fahsa (2022)	Shiddiqie (2022)	Madani (2023)	Salsabila (2025)
Judul	Analisis Potensi Likuefaksi Berdasarkan Data SPT dan CPT.	Analisis Potensi Likuefaksi Berdasarkan Distribusi Ukuran Butir Tanah dan Data CPT.	Analisis Potensi Likuefaksi Berdasarkan Data Pengujian N-SPT.	Analisis Potensi Likuefaksi Menggunakan Metode Seed dkk (1985), Cetin dkk (2004) dan <i>Hyperbolic Fuction</i> (2012) Berdasarkan Data N-SPT Akibat Pengaruh Variasi Magnitudo Gempa.	Pengaruh Percepatan Maksimum Gempa Dari Batuan Dasar ke Permukaan Terhadap Potensi Likuefaksi di Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia.	Penentuan Tingkat Potensi Likuefaksi Menggunakan Metode LPI, Metode Juang dkk (2008) dan Metode Sonmez dan Gokceoglu (2005) Berdasarkan Data N-SPT.
Lokasi	Proyek Pembangunan KA Bandara <i>New Yogyakarta Airport</i> . Daerah Istimewa Yogyakarta.	Kawasan Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia Desa Wijirejo, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.	Proyek Jembatan Kenet, Kabupaten Bantul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.	Jembatan Kretek II di Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.	Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia.	Proyek Pembangunan Jalan Tol-Jogja - Bawen Paket 1 Seksi 1
Metode	Metode USCS untuk pengklasifikasian tanah, metode CSR dan metode	Metode CSR dan metode CRR berdasarkan data CPT dengan persamaan Seed	Metode CSR dan metode CRR berdasarkan data SPT menghitung nilai SF dengan	Metode CSR dan metode CRR berdasarkan data SPT dengan persamaan Seed	Metode <i>Deterministic Seismic Hazard Analysis</i> (DSHA), metode CRR dan CSR	Metode NCEER untuk mengetahui SF, Metode Indeks LPI untuk mengetahui potensi)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang

Aspek	Penelitian yang telah dilakukan					Penelitian yang akan dilakukan
Peneliti	Hasbi (2021)	Salsabila (2025)	Fahsa (2022)	Shiddiqie (2022)	Madani (2023)	Salsabila (2025)
Metode	CRR berdasarkan data SPT dan CPT, menghitung nilai SF dengan metode NCEER (1996).	dan Idris (1971) dan IM Idriss dan RW Boulanger (2008), dan metode Iwasaki dkk (1986) untuk menghitung nilai LPI.	metode NCEER (1996).	dkk (1985), Cetin dkk (2004) dan <i>Hyperbolic Fuction</i> (2012).	berdasarkan data N-SPT.	likuefaksi, Metode Juang dkk (2008) dan Metode Sonmez dan Gokceoglu (2005) untuk mengetahui probabilitas potensi likuefaksi.
Hasil	Berdasarkan hasil klasifikasi tanah, tanah tergolong berbutir kasar dan termasuk dalam jenis pasir lempung (SC). Berdasarkan analisis data SPT menunjukkan nilai antara 0,0-0,9. Selain itu faktor korekso <37,5 menunjukkan perlunya ada perbaikan tanah untuk menahan	Berdasarkan hasil penelitian, ditemukan bahwa Titik Wijirejo 1 dan Titik Wijirejo 2 memiliki potensi tinggi terhadap likuefaksi. Hal ini ditunjukkan dengan kurva distribusi butiran tanah berada pada zona berpotensi likuefaksi menurut Tsuchoda (1970). Data CPT	Berdasarkan hasil klasifikasi tanah menggunakan metode USCS tergolong berbutir tanah dengan jenis pasir lempung atau pasir berlempung (SC). Pada titik BH-1 pada kedalaman 6 m, 12,5 m, dan 20 m lapisan tanah memiliki nilai SF < 1 sementara titik BH-2 pada kedalaman 6 m	Berdasarkan hasil analisis potensi likuefaksi dengan beberapa titik dan beberapa metode menunjukkan nilai SF bervariasi tergantung kepada metode dan magnitudo gempa yang digunakan. Secara umum, menunjukkan bahwa semakin besar magnitudo gempa, maka nilai SF semakin kecil, yang berarti	Berdasarkan hasil analisis percepatan gempa dan potensi likuefaksi di lokasi penelitian diperoleh bahwa nilai percepatan maksimum gempa di permukaan pada kedua titik sesuai dengan kisaran nilai berdasarkan SNI 1726:2019 yaitu antara 0,5g-0,6g.	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang

Aspek	Penelitian yang telah dilakukan					Penelitian yang akan dilakukan
Peneliti	Hasbi (2021)	Salsabila (2025)	Fahsa (2022)	Shiddiqie (2022)	Madani (2023)	Salsabila (2025)
	beban seismik. Pada hasil data CPT juga mendukung temuan, dimana titik kedalaman 1-12,6 meter memiliki nilai SF antara 0,01-0,08 dimana memiliki potensi likuefaksi.	menunjukkan bahwa seluruh titik sondir memiliki nilai SF < 1, yang menandakan terjadinya potensi likuefaksi pada kedalaman antara 0,2-13,2 meter. Selain itu berdasarkan LPI menunjukkan hasil yang tinggi dan masuk dalam kategori potensi likuefaksi sangat tinggi menurut Iwasaki dkk (1981)	dan 20 m memiliki nilai SF > 1 menunjukkan tidak ada potensi likuefaksi. Namun, pada kedalaman 13 m memiliki nilai SF > 1 yang mendekati nilai 1, dimana pada kedalaman tersebut berada pada kondisi kritis.	potensi likuefaksi makin tinggi. Secara keseluruhan, ketiga metode yaitu metode Seed dkk (1985), Cetin dkk (2004) dan HBF (2012) menunjukkan bahwa wilayah penelitian memiliki risiko tinggi terhadap likuefaksi, terutama saat terjadi gempa dengan magnitudo > 7,0 SR.	Analisis menggunakan data N-SPT serta perangkat lunak EERA menunjukkan bahwa percepatan gempa berpengaruh signifikan terhadap potensi likuefaksi pada masing-masing lapisan tanah. Keseluruhan hasil menunjukkan bahwa pada beberapa kedalaman berpotensi mengalami likuefaksi.	

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Menurut Das (1995), tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, di samping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan. Dalam praktiknya, perlu dipelajari sifat-sifat dasar dari tanah, seperti asal usulnya, penyebaran ukuran butiran, kemampuan mengalirkan air, sifat pemampatan bila dibebani (*compressibility*), kekuatan geser, kapasitas daya dukung terhadap beban, dan lain-lain. Berdasarkan faktor-faktor tersebut, tanah dapat diklasifikasikan sesuai dengan sistem-sistem yang telah dikembangkan. Sistem klasifikasi tanah merupakan sistem penggolongan dari jenis tanah yang memiliki sifat yang seragam dan dimasukkan kedalam kelompok berdasarkan pemakaiannya.

3.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Ukuran Butiran

Tanah terdiri dari berbagai macam butiran, mulai dari butiran yang besar hingga kecil. Menurut Joseph, E.B (1989) pembagian nama jenis tanah dibagi menjadi seperti berikut:

1. Berangkal (*boulders*) merupakan potongan batuan yang besar, biasanya diambil lebih dari ukuran 250 mm – 350 mm.
2. Kerakal (*cobbles*) merupakan batuan dengan ukuran lebih dari 150 mm – 250 mm.
3. Kerikil (*gravel*) merupakan partikel batuan yang memiliki ukuran 5 mm – 150 mm.

4. Pasir (*sand*) merupakan partikel batuan yang memiliki ukuran 0,074 mm – 5 mm, berkisar dari kasar (5 mm – 3 mm) sampai halus (<1 mm).
5. Lanau (*silt*) merupakan partikel batuan yang memiliki ukuran dari 0,002 mm – 0,074 mm.
6. Lempung (*clay*) merupakan partikel mineral yang memiliki ukuran <0,002 mm, partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi didalam tanah yang berkohesif.
7. Koloid (*colloids*) merupakan partikel mineral yang berukuran >0,001 mm.

Tanah dapat diklasifikasikan menggunakan beberapa sistem, sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan untuk mengelompokkan jenis tanah adalah *Unified Soil Classification System* (USCS). Sistem ini mengkategorikan tanah berdasarkan sifat-sifat indeks yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair, dan indeks plastisitasnya. Selain USCS, ada juga sistem klasifikasi lain yang sering digunakan, seperti *American Association of State Highway and Transportation Officials Classification* (AASHTO), *British Soil Classification System* (BSCS), dan *United States Department of Agriculture* (USDA) *Soil Classification*. Dalam berbagai penelitian dan aplikasi praktis, klasifikasi tanah sering dilakukan berdasarkan sistem USCS dan AASHTO karena kedua sistem ini memberikan panduan yang jelas dan terstruktur untuk mengidentifikasi dan mengelompokkan jenis-jenis tanah sesuai dengan sifat-sifat fisik dan mekanisnya.

Tabel 3.1 Klasifikasi Butiran Menurut Unified, ASTM, MIT, Nomenclature dan International Nomenclature Berdasarkan Ukuran Butiran

	1,7 mm	0,38	0,075						
Unified Class system	Kasar	sedang	halus	Butiran halus (lanau dan lempung)					
	Pasir								
ASTM	2,00 mm	0,42	0,075	0,005	0,001				
	pasir sedang		pasir halus	Lanau	Lempung	Lempung Kolosoidal			
MT nomenclatur	2,00 mm	0,6	0,2	0,06	0,02	0,006	0,002	0,0006	0,00002 mm
	kasar	sedang	halus	Kasar	sedang	halus	kasar	Sedang	Halus
	Pasir			Lanau			Lempung		

Lanjutan Tabel 3.1 Klasifikasi Butiran Menurut Unified, ASTM, MIT, Nomenclature dan International Nomenclature Berdasarkan Ukuran Butiran

	2,00 mm	1,0	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,006	0,002	0,0006	0,00002 mm	
International nomenclatur	Sangat kasar	kasar	sedang	halus	kasar	halus	kasar	halus	kasar	halus	Sangat halus	
	Pasir				Mo		Lanau		Lempung			

Sumber : Hardiyatmo (2014)

3.2.1 Klasifikasi Tanah Menurut USCS

Pada sistem klasifikasi Unified, tanah diklasifikasikan kedalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan No. 200 (0,075 mm), dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan No. 200. Untuk menentukan klasifikasi tanah menurut USCS yaitu sebagai berikut.

1. Jika lebih dari 50% berat total tanah tertahan di saringan No. 200, maka tanah dikategorikan sebagai tanah berbutir kasar. Presentase tanah yang lolos dari saringan No. 4 jika kurang dari 50% tanah tertahan di saringan No. 4, tanah diklasifikasikan sebagai kerikil (G). Jika 50% atau lebih tanah melewati saringan No. 4, tanah diklasifikasikan sebagai pasir (S).
2. Jika 50% atau lebih berat total tanah tertahan melewati/ lolos saringan No. 200, maka tanah dikategorikan sebagai tanah berbutir halus. Untuk tanah yang melewati saringan No. 200, maka dilakukan uji batas Atterberg (batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas). Tanah dengan plastisitas rendah ($LL < 50$, $PI < 7$) diklasifikasikan sebagai lanau (M). Sedangkan, tanah dengan plastisitas tinggi ($LL \geq 50$, $PI \geq 7$) diklasifikasikan sebagai lempung (C).

Selain itu, juga terdapat penambahan symbol pada sistem klasifikasi tanah menurut USCS untuk tanah berbutir kasar yang memiliki lebih dari 12% fraksi halus (melalui saringan No. 200) diberi simbol tambahan:

1. W = *well graded*.
2. P = *poorly graded*.
3. L = *low plasticity (liquid limit less than 50)*.
4. H = *high plasticity (liquid limit more than 50)*.

Klasifikasi tanah ini dilakukan menggunakan sistem klasifikasi tanah USCS, yang menyediakan tabel untuk mengelompokkan jenis tanah berdasarkan karakteristik fisiknya pada Gambar 3.1.

Tabel 1.6. Klasifikasi tanah sistem Unified

Divisi Utama	Simbol kelompok	Nama Jenis	Kriteria Klasifikasi	
Tanah berbutir kasar 50% butiran tertahan saringan no. 200 (0.075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari gradasi kasar tertahan saringan no. 4 (4.75 mm)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil atau tidak mengandung butiran halus	
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lanau	
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung	
	Pasir bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		SP	Pasir gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
	Pasir banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	
		SC	Pasir berlanau, campuran pasir-lempung	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0.075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('clean clays')	
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	MH	Lanau tak organik atau pasir halus distomies, lanau elastis	
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
	Tanah dengan kadar organik tinggi	P _i	Gambut ('peat'), dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2486

Klasifikasi berdasarkan prosentase Lunan

Untuk gradasi G₅₀ > 5% kelas saringan no. 200: GP, GM, GC, SM, SC, 5% - 12% lolos saringan no. 200; Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel

Klasifikasi berdasarkan gradasi

Untuk gradasi G₅₀ > 5% kelas saringan no. 200: GP, GM, GC, SM, SC, 5% - 12% lolos saringan no. 200; Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel

Kriteria Klasifikasi

$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, $C_c = \frac{(D_{30})^3}{D_{10} \cdot D_{60}}$ antara 1 dan 3

Triak memenuhi kedua kriteria untuk GW

Batas batas Atterberg di bawah garis A atau PI < 4

Batas-batas Atterberg di atas garis A atau PI > 7

$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$; $C_c = \frac{(D_{30})^3}{D_{10} \cdot D_{60}}$ antara 1 dan 3

Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW

Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI < 4

Batas-batas Atterberg di atas garis A atau PI > 7

Diatas garis A: CH, CL, ML, MH, OL, OH, PI

Dibawah garis A: CH, CL, ML, MH, OL, OH, PI

Batas Cair LL (%)

Garis A: PI = 0.73 (LL - 20)

Gambar 3.1 Klasifikasi Tanah Menurut USCS

Sumber : Hardiyatmo (2014)

3.3 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi secara tiba-tiba dari dalam bumi. Energi ini biasanya dilepaskan karena adanya pergeseran pada patahan atau akibat aktivitas vulkanik. Menurut Ibrahim, M., dkk (2017) Gempa didefinisikan sebagai kejutan atau sentakan yang terjadi di dalam bumi dimana getarannya dapat dirasakan di permukaan bumi. Gempa disebabkan oleh meningkatnya aktivitas geologi yang terjadi di dalam bumi, seperti terjadinya pergeseran antar lempeng benua, meningkatnya suhu yang dapat menimbulkan penumpukan energi dalam waktu yang lama, sampai akhirnya terlepas dan menyebabkan getaran pada tanah.

Gempa tektonik melepaskan energi yang menyebar melalui pusat gempa dalam bentuk gelombang primer (P wave) dan gelombang sekunder (S wave), yang dikenal sebagai gelombang badan. Gelombang S wave menyebabkan gaya geser

bolak-balik yang dapat merusak struktur bangunan di permukaan tanah dan berpotensi menyebabkan likuefaksi. Likuefaksi terjadi ketika gaya geser dari gelombang *S wave* membuat tanah berpasir atau lempung yang jenuh air kehilangan kekuatannya dan mengalir seperti cairan. Faktor-faktor seperti magnitudo gempa, durasi gempa, dan percepatan permukaan tanah juga mempengaruhi kecenderungan terjadinya likuefaksi (Hatmoko, 2016).

Menurut SNI 1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung potensi likuefaksi dan kehilangan kekuatan tanah dievaluasi terhadap percepatan tanah puncak pada situs, magnitude gempa, dan karakteristik sumber yang konsisten dengan percepatan puncak maksimum (MCE_G). Percepatan tanah puncak (PGA_M) dihitung menggunakan Persamaan 3.1.

$$PGA_M = F_{GPA} \times PGA \quad (3.1)$$

dengan:

PGA_M = MCE_G percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs. (m/s^2)

PGA = percepatan tanah puncak terpetakan (m/s^2)

F_{GPA} = koefisien situs.

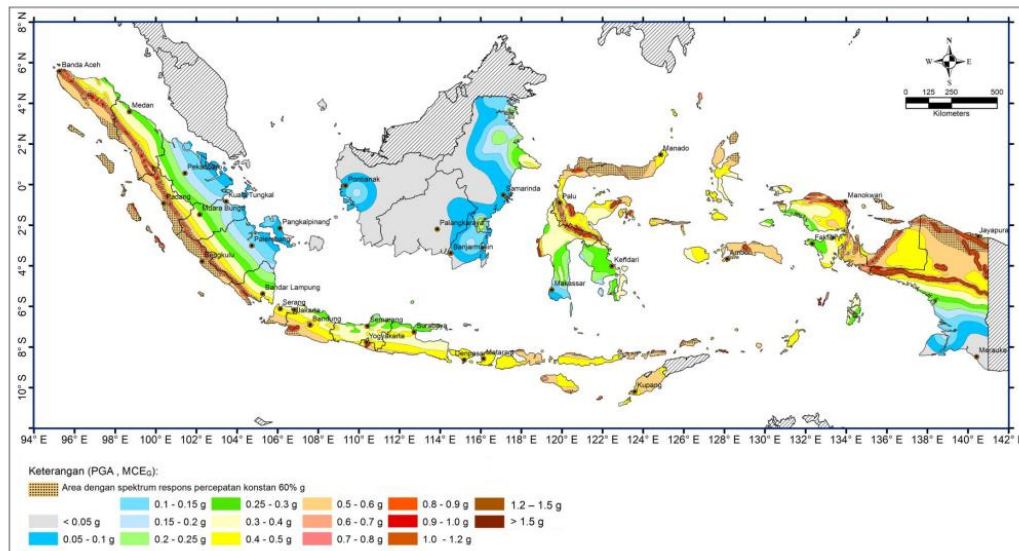
Koefisien situs sesuai dengan pembagian kelas situs dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Koefisien Situs (F_{GPA})

Kelas Situs	$PGA \leq 0,1$	$PGA = 0,2$	$PGA = 0,3$	$PGA = 0,4$	$PGA = 0,5$	$PGA \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1
SE	2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1
SF	SS ^(a)					

Sumber : SNI 1726 (2019)

Untuk dapat menentukan besar nilai Koefisien Situs (FGPA) diperlukan nilai percepatan tanah puncak terpetakan. Besar nilai percepatan tanah puncak terpetakan dapat diketahui dengan menggunakan Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Peta Percepatan Gempa di Indonesia

Sumber : SNI 1726 (2019)

Selain menggunakan Gambar 3.2 dalam SNI 1726 (2019) untuk menentukan nilai percepatan maksimum gempa (a_{max}) juga dapat diperoleh melalui laman resmi milik Direktorat Jenderal Cipta Karya, yaitu menggunakan titik koordinat lokasi. Pendekatan ini memudahkan dalam memperoleh data PGA yang akurat dan sesuai standar nasional untuk analisis potensi likuefaksi.

3.4 Likuefaksi

Das, B.M. (2010) menjelaskan likuefaksi sebagai proses di mana tanah granular jenuh air, ketika mengalami gempa bumi, kehilangan kekuatan gesernya akibat peningkatan tekanan air pori. Das juga menyebutkan bahwa likuefaksi sering terjadi pada tanah pasir lepas atau tanah berpasir dengan kandungan air tinggi, dan dapat menyebabkan pergeseran tanah yang signifikan. Menurut Craig, R.F (2004) likuefaksi terjadi ketika tekanan air pori dalam tanah berpasir yang jenuh air meningkat akibat beban siklik, seperti gempa bumi. Peningkatan ini menyebabkan

penurunan kekuatan geser tanah, sehingga tanah berperilaku seperti cairan. Hal ini dapat menyebabkan kegagalan fondasi dan kerusakan bangunan.

3.4.1 Faktor Terjadinya Likuefaksi

Likuefaksi dapat terjadi akibat faktor–faktor yang mempengaruhinya. Dalam bukunya, Widodo (2012) menjelaskan beberapa faktor terjadinya likuefaksi antara lain sebagai berikut.

1. Karakteristik getaran potensi terjadinya likuefaksi berbanding lurus dengan percepatan tanah akibat gempa dan seberapa lama durasi getaran yang terjadi, kedua hal tersebut berhubungan dengan magnitudo gempa yang terjadi.
2. Jenis tanah telah dijelaskan oleh banyak peneliti bahwa potensi likuefaksi terjadi pada *non-cohesive soil* atau tanah pasir lepas atau sedikit tanah campuran dengan indeks plastis (PI) yang kecil. Ikatan tanah pasir dapat lepas akibat muka air tanah dan juga akibat guncangan gempa yang terjadi. Untuk mengetahui jenis tanah pada suatu lokasi, diperlukan adanya penyelidikan tanah untuk mengetahui jenis dan karakteristik tanah.
3. Distribusi diameter butir menurut Prakash (1981) dan Day (2002) dalam buku “Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan” dijelaskan bahwa butiran-butiran pada pasir halus dan seragam cenderung lebih berpotensi terjadi likuefaksi. Hal ini disebabkan karena butir halus dan peningkatan tegangan pori air lebih mudah direduksi. Untuk mengetahui pendistribusian butiran, perlu dilakukan analisis saringan agar diketahui variasi gradasi butirannya.
4. Muka air tanah, muka air tanah dapat mengakibatkan lapisan tanah yang total *overburden pressure* nya relatif kecil akan bersifat jenuh air akan memudahkan terjadinya likuefaksi. Das (1995) menjelaskan bahwa likuefaksi biasanya terjadi pada tanah yang jenuh air. Pada saat terjadi getaran, muka air memberikan tekanan sehingga mempengaruhi kepadatan tanah, tekanan air pori dapat meningkat dan akhirnya tanah tidak memiliki daya dukung yang kuat, sehingga tidak mampu menahan beban struktur yang ada di atasnya.

3.4.2 Bahaya Terjadinya Likuefaksi

Likuefaksi dapat menyebabkan berbagai bahaya serius yang mempengaruhi stabilitas dan integritas struktur di atasnya. Menurut Kramer, S. L. (1996) dalam bukunya yang berjudul “*Geotechnical Earthquake Engineering*” menjelaskan beberapa bahaya likuefaksi, sebagai berikut:

1. Penurunan tanah (*settlement*), penurunan tanah ini terjadi karena pengaturan ulang partikel tanah yang terjadi saat tanah kehilangan kekakuannya. Penurunan tanah ini mengakibatkan kerusakan yang serius pada pondasi bangunan, jalan, dan infrastruktur lainnya yang menyebabkan retak atau runtuh.
2. Pergerakan lateral (*lateral spreading*), fenomena dimana lapisan tanah yang bergerak secara horizontal, terutama pada daerah kemiringan atau di dekat sungai atau laut.
3. Peningkatan tekanan air pori (*pore water pressure increase*), terjadinya peningkatan air menyebabkan partikel tanah saling terpisah dan membuat tanah kehilangan kemampuan menahan beban. Akibatnya, tanah menjadi cair dan tidak mampu menahan beban struktur di atasnya.
4. Kerusakan pondasi (*foundation failure*), terjadi karena adanya penurunan tanah yang tidak merata, yang menyebabkan bangunan miring, retak, atau bahkan runtuh.
5. Bahaya bagi manusia (*hazard to human life*), keruntuhan bangunan dan infrastruktur akibat likuefaksi dapat mengakibatkan cedera atau kematian bagi penghuni dan pengguna fasilitas tersebut.

3.5 Potensi Likuefaksi berdasarkan Distribusi Butiran

Likuefaksi dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti karakteristik getaran, jenis tanah, muka air tanah, kepadatan awal, distribusi butir tanah, kemampuan drainase tanah, dan faktor lain seperti usia atau umur lapisan tanah. Menurut Prakash (1981) dan Day (2002), butir-butir pasir yang halus dan seragam cenderung lebih rentan terhadap likuefaksi dibandingkan dengan butir-butir yang lebih besar. Tanah dengan gradasi yang baik atau distribusi butir yang beragam akan lebih tahan terhadap likuefaksi, karena butir-butir tanah yang lebih kecil mengisi ruang di

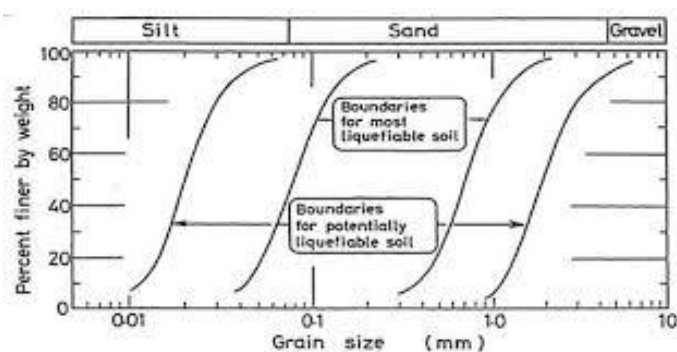
antara butir-butir yang lebih besar, menciptakan efek saling mengunci. Sebaliknya, butir-butir yang halus dan seragam lebih mudah mengalami likuefaksi, sementara butir-butir pasir yang lebih besar relatif lebih sulit mengalami likuefaksi.

3.5.1 Karakteristik Butir-Butir Pasir

Likuefaksi lebih cenderung terjadi pada pasir jenuh air dengan diameter halus, terutama pada tanah dengan sistem drainase yang buruk. Ada beberapa kriteria yang membuat jenis tanah tersebut rentan terhadap likuefaksi. Kriteria-kriteria tersebut meliputi: diameter tengah (D_{50}) antara 0,02-1,00 mm, kandungan butir halus ($D < 0,005$ mm) tidak lebih dari 20%, koefisien keseragaman (C_u) kurang dari 10, kepadatan relatif (D_r) kurang dari 75%, dan indeks plastisitas (PI) kurang dari 13%.

3.5.2 Kurva Distribusi

Kurva distribusi butir tanah Tsuchida (1970) merupakan grafik yang digunakan untuk menentukan potensi likuefaksi. Tsuchida (1970) mengemukakan bahwa tanah yang rentan terhadap likuefaksi biasanya memiliki karakteristik gradasi tertentu yang dapat dikenali melalui analisis ukuran butir. Berdasarkan distribusi butiran tanah, Tsuchida mengusulkan batas-batas distribusi butir tanah yang rentan terhadap likuefaksi seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Distribusi Butir Tanah yang Rentan Terhadap Likuefaksi
Sumber : Tsuchida (1970)

Dengan penjelasan, *boundaries for most liquefiable soil* merupakan batasan untuk tanah paling berpotensi likuefaksi dan *boundaries for potentially liquefiable soil* merupakan batasan untuk tanah berpotensi likuefaksi.

3.5.3 Analisis Distribusi Butir Tanah

Analisis saringan adalah metode untuk menentukan distribusi ukuran butir dalam sampel tanah. Metode ini melibatkan penyaringan sampel tanah menggunakan rangkaian saringan dengan ukuran lobang bervariasi, seperti saringan No. 4 (4.75 mm) dan No. 200 (0.075 mm). Apabila butiran tanah memiliki ukuran lebih besar dari 0,075 mm (saringan No.200) maka digunakan analisa saringan untuk menentukan penyebaran butiran tanah, sedangkan untuk menentukan penyebaran butiran tanah lebih kecil dari 0,075 mm digunakan analisa hidrometer.

1. Analisa saringan

Ukuran saringan yang biasanya digunakan untuk analisis saringan tanah sesuai dengan standar *American Society for testing and Materials* (ASTM) dan sistem klasifikasi tanah mencakup rentang ukuran yang luas untuk memastikan bahwa berbagai jenis butiran tanah dapat diukur dengan akurat.

Ukuran saringan ini dipilih untuk mencakup berbagai jenis butiran tanah, mulai dari kerikil besar hingga lanau dan pasir halus. Proses analisis melibatkan penggunaan serangkaian saringan ini untuk memisahkan dan mengukur butiran tanah berdasarkan ukurannya. Setelah penyaringan, berat butiran yang tertahan pada setiap saringan dihitung untuk menentukan distribusi ukuran butir dalam sampel tanah. Analisa saringan digunakan untuk butir tanah yang mempunyai ukuran > 0.075 mm. Ukuran diameter saringan dengan standar ASTM dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Ukuran Diameter Saringan Standar ASTM

No Saringan	Ukuran Lubang (mm)
4	4,750
10	2,000
20	0,850

Lanjutan Tabel 3.3 Ukuran Diameter Saringan Standar ASTM

No Saringan	Ukuran Lubang (mm)
40	0,425
80	0,180
120	0,125
200	0,075

Sumber : *ASTM International* (2001)

Untuk semua instalasi ayak berlaku bahwa, bahan ayak harus tersebar merata di atas permukaan ayak. Selanjutnya, penting pula untuk mengatur kecepatan takar sesuai dengan kapasitas ayakan. Setelah proses penyaringan selesai, butiran yang tertahan di setiap saringan ditimbang dan dibandingkan dengan berat total sampel untuk menghitung persentase berat butiran. Data ini kemudian digunakan untuk membuat kurva distribusi butir, yang menggambarkan persentase relatif dari butiran yang lolos dari masing-masing saringan. Dalam pembuatan kurva distribusi butir, digunakan Persamaan 3.2 untuk menghitung berat butir tanah tertahan, persamaan berikut.

$$W_f = W_t - \sum d \quad (3.2)$$

dengan:

W_f = berat sampel lolos saringan (gram)

W_t = berat sampel total (gram)

$\sum d$ = berat sampel tertahan saringan (gram)

Persamaan 3.3 untuk perhitungan persentase butir tanah lolos dari masing-masing saringan terhadap sampel tanah total, pada persamaan berikut.

$$P = \frac{W_f}{W_t} \times 100\% \quad (3.3)$$

dengan:

P = persen lolos saringan (%)

2. Analisis Hidrometer

Uji hidrometer atau analisis hidrometer adalah metode yang digunakan untuk menentukan distribusi ukuran partikel dari tanah halus seperti lanau dan lempung yang tidak dapat diukur dengan metode saringan biasa. Analisis ini didasarkan pada prinsip hukum Stokes, yaitu butiran dimasukkan kedalam larutan, butiran yang memiliki ukuran yang besar kecepatan pengendapannya lebih cepat dibanding butiran yang halus. Berdasarkan SNI 3428 (2008), uji hidrometer dilakukan dengan mencampurkan tanah halus yang telah lolos saringan No.200 ke dalam silinder (tabung) berisi air, kemudian diaduk hingga homogen dan dibiarkan mengendap. Selama proses pengendapan dilakukan pembacaan dengan menggunakan hidrometer pada interval waktu tertentu. Rumus Hukum Stokes yang digunakan untuk uji hidrometer terdapat pada Persamaan 3.4 berikut.

$$D = \sqrt{\frac{18 \eta x h}{(G_s - 1) x G x t}} \quad (3.4)$$

dengan:

D = diameter partikel (mm)

η = viskositas cairan ($\text{g.cm}^{-1}.\text{s}^{-1}$)

h = kedalaman bacaan hidrometer dari permukaan (cm)

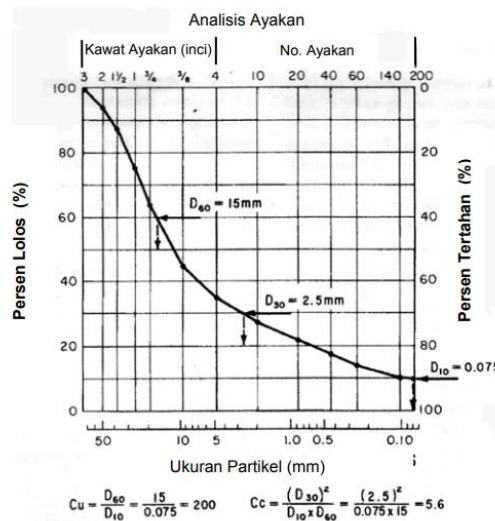
G_s = berat jenis partikel tanah

g = percepatan gravitasi (cm/s^2)

t = waktu sejak awal pengendapan (s)

3. Kurva distribusi ukuran butiran (*grain size distribution*)

Kurva distribusi ukuran butiran merupakan grafik yang menggambarkan distribusi ukuran partikel dalam suatu sampel tanah berdasarkan hasil analisis saringan dan hidrometer. Kurva distribusi ukuran butiran dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Kurva Distribusi Ukuran Butiran

Sumber : SNI 6371 (2015)

C_u adalah rasio antara ukuran butiran yang lolos 60% (D_{60}) dan ukuran butiran yang lolos 10% (D_{10}). Digunakan Persamaan 3.5 untuk menghitung C_u .

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (3.5)$$

dengan:

C_u = koefisien keseragaman

D_{60} = ukuran lubang saringan dimana 60% butiran tanah lolos pada saringan ukuran saringan tersebut (mm)

D_{10} = ukuran efektif, ukuran lubang saringan dimana 10% butiran tanah lolos pada ukuran saringan tersebut (mm)

Nilai C_u memberikan informasi tentang keanekaragaman ukuran butiran dalam sampel tanah. Nilai C_u yang tinggi menunjukkan rentang ukuran butiran yang lebar, yang berarti tanah bergradasi baik. Sebaliknya, nilai C_u yang rendah menunjukkan bahwa butiran tanah memiliki ukuran yang seragam. Koefisien gradasi (C_c) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.6.

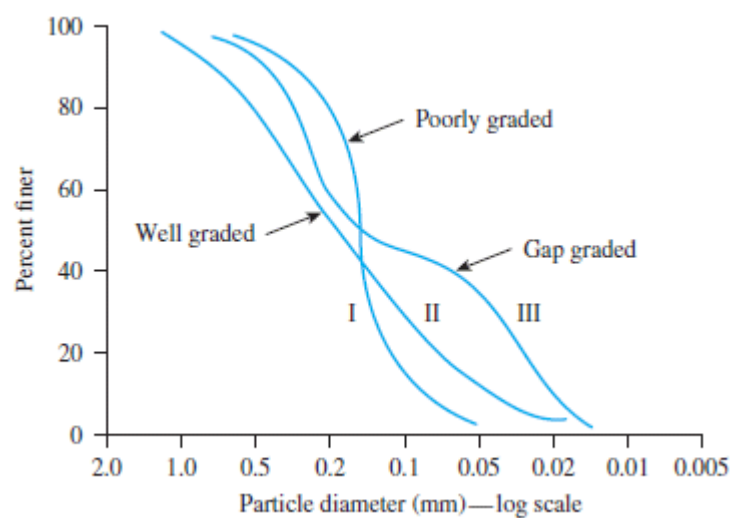
$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (3.6)$$

dengan:

C_c = koefisien gradasi

D_{30} = ukuran lubang saringan dimana 30% butiran tanah lolos pada saringan ukuran saringan tersebut (mm)

Nilai C_c yang mendekati 1 menunjukkan distribusi ukuran butiran yang baik di sekitar ukuran butiran median, yang berarti tanah bergradasi baik. Nilai C_c yang jauh dari 1 menunjukkan tanah dengan distribusi ukuran butiran yang buruk.



Gambar 3.5 Perbedaan Tipe Gradasi pada Kurva Distribusi Analisa Saringan

Sumber : Das dan Sobhan (2014)

3.6 Potensi Likuefaksi berdasarkan Data Lapangan

Dalam menganalisis potensi likuefaksi, terdapat dua pendekatan yang bisa dilakukan, yaitu uji laboratorium dan perhitungan berdasarkan data uji lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai potensi likuefaksi menggunakan data uji lapangan, khususnya dari tes SPT dan CPT. Untuk menganalisis potensi likuefaksi, diperlukan nilai CSR dan CRR, yang dapat diperoleh dari pengukuran CPT, SPT, V_s dan berbagai tes tanah lainnya seperti *Becker Penetration Test* (BPT). Namun, dalam penelitian ini, analisis potensi likuefaksi difokuskan pada perhitungan menggunakan data hasil uji SPT.

SPT adalah sebuah metode pengujian yang dilakukan secara langsung di lapangan dengan tujuan untuk menilai kepadatan relatif dan konsistensi tanah pada tiap lapisan tanah dari pengambilan sampel tanah menggunakan tabung sehingga dapat diketahui jenis, ketebalan dan data-data kuantitatif pada tiap lapisan tanah.

Dengan data N-SPT dapat diketahui juga potensi likuefaksi suatu daerah dengan mencari nilai CRR, CSR yang selanjutnya digunakan untuk menghitung seberapa besar nilai SF untuk mengetahui potensi likuefaksi pada daerah tersebut. Dalam penelitian ini, perhitungan CRR dan CSR mengacu pada metode NCEER (*National Center of Earthquake Engineering Research*). Metode ini merupakan bentuk penyempurnaan dari metode Youd dan Idriss (2001). Metode NCEER menghitung nilai SF dengan diperoleh dari hasil perbandingan nilai CRR dan CSR yang mempertimbangkan koreksi faktor magnitudo gempa, tegangan *overburden* efektif, serta koreksi nilai N-SPT.

3.6.1 Metode *Cyclic Stress Ratio* (CSR)

Untuk perhitungan nilai CSR digunakan persamaan menurut Seed dan Idriss (1971) seperti Persamaan 3.7.

$$CSR = 0,65 \left(\frac{a_{maks}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{vc}}{\sigma'_{vc}} \right) \cdot r_d \quad (3.7)$$

dengan:

- CSR = nilai *Cyclic Stress Ratio*
- a_{maks} = percepatan puncak horizontal pada tanah akibat gempa di batuan dasar
- g = percepatan gravitasi
- σ_{vc} = tegangan total vertikal saat terjadi konsolidasi (kN/m²)
- σ'_{vc} = tegangan efektif vertikal saat terjadi konsolidasi (kN/m²)
- r_d = koefisien tegangan reduksi.

Nilai 0.65 dalam persamaan diatas merupakan faktor reduksi untuk memperhitungkan bahwa hanya sebagian (65%) dari tegangan total yang bekerja secara siklik selama gempa. Penjelasan-penjelasan parameter Persamaan 3.7 sebagai berikut.

1. Percepatan puncak horizontal pada tanah akibat gempa di batuan dasar (a_{maks}), dapat diperoleh dengan menggunakan peta gempa tahun 2019 yang mengacu pada standar SNI-1726-2019 dan mengikuti panduan yang tercantum dalam Gambar 3.1. Penentuan nilai a_{maks} dilakukan berdasarkan kode warna yang ditunjukkan di lokasi pengujian, dengan mengacu pada informasi yang tertera dalam keterangan peta gempa tersebut. Selain itu, untuk mendukung analisis kondisi tanah, digunakan juga tabel kolerasi antara nilai N-SPT untuk mendukung menentukan konsistensi atau kepadatan tanah, dengan mengacu pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Korelasi Nilai N Dengan Konsistensi Tanah

Nilai N	Konsistensi Tanah
≤ 2	<i>Very soft</i>
2 – 4	<i>Soft</i>
4 – 8	<i>Firm</i>
8 – 15	<i>Stiff</i>
15-30	<i>Very Stiff</i>
> 30	<i>Hard</i>

Sumber : Terzaghi dan Peck (1996)

2. Tegangan total vertikal (σ_v), menurut Terzaghi (1943) tegangan total vertikal adalah tegangan yang dihasilkan oleh semua material di atas titik tertentu di dalam tanah. Besar nilai tegangan total vertikal dapat dicari dengan Persamaan 3.8 berikut.

$$\sigma_v = \gamma_{sat} \cdot z \quad (3.8)$$

dengan:

γ_{sat} =berat isi jenuh tanah (kN/m³)

z =kedalaman dari permukaan tanah (m)

Untuk menentukan besar nilai berat isi jenuh tanah (γ_{sat}) digunakan pendekatan antara korelasi N-SPT dengan berat volume tanah menurut Terzaghi and Peck (1943) pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Korelasi N-SPT dengan Berat Volume Tanah

N-SPT	Konsistensi	qu	γ_{sat} (kN/m ³)
<2	<i>very soft</i>	<0,25	16-19
2	<i>soft</i>	0,25	16
4	<i>soft</i>	0,5	19
4	<i>medium</i>	0,5	17
8	<i>medium</i>	1	20
8	<i>stiff</i>	1	19
15	<i>stiff</i>	2	22
15	<i>very stiff</i>	2	19
30	<i>very stiff</i>	4	22

Sumber : Terzaghi and Peck (1943)

3. Tegangan efektif vertikal (σ'_v), menurut Terzaghi (1943) tegangan efektif adalah bagian dari tegangan total yang benar-benar didukung oleh rangka tanah (butiran tanah). Nilai tegangan efektif dapat dicari dengan Persamaan 3.9.

$$\sigma'_v = \sigma_v - u \quad (3.9)$$

dengan:

u = tekanan air pori (kN/m²)

Untuk mencari nilai tekanan air pori tanah, dapat menggunakan Persamaan 3.10.

$$u = \gamma_w H \quad (3.10)$$

dengan:

u = tekanan air pori tanah (kN/m²)

γ_w = berat volume air (9,81 kN/m³)

H = tebal lapisan tanah (m)

4. Koefisien tegangan reduksi (r_d) menurut Liao dan Whitman (1986) adalah koefisien yang digunakan untuk perhitungan pengurangan tegangan siklik dengan kedalaman dalam analisis likuefaksi. Nilai ini dapat mempengaruhi

tegangan tanah. Liao dan Whitman (1986) menformulasikan rumus untuk menghitung r_d berdasarkan kedalaman (z) dengan Persamaan 3.11a dan 3.11b.

$$r_d = 1.0 - 0,00765z \text{ untuk } z \leq 9,15 \text{ m} \quad (3.11a)$$

$$r_d = 1.174 - 0,0267z \text{ untuk } z > 9,15 \text{ m} \quad (3.11b)$$

3.6.2 Metode *Cyclic Resistance Ratio* (CRR)

Nilai CRR dapat diperoleh dari berbagai metode, termasuk pengujian laboratorium dan data lapangan seperti tes SPT, CPT, dan lainnya. Berikut ini adalah penjelasan mengenai cara menentukan nilai CRR dari hasil tes SPT dan CPT.

Terdapat beberapa perhitungan yang dilakukan untuk menentukan besar nilai CRR dengan N-SPT yaitu sebagai berikut. Menentukan nilai $(N_1)_{60}$ menggunakan faktor koreksi dengan Persamaan 3.12 yang diberikan oleh Youd dan Idriss (2001) dan Cetin dkk (2004)

$$(N_1)_{60} = N_m \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S \quad (3.12)$$

dengan:

$(N_1)_{60}$ = nilai SPT terkoreksi terhadap pengaruh efisiensi tenaga 60%

C_N = faktor koreksi terhadap tegangan vertikal efektif

C_E = faktor koreksi terhadap rasio tenaga palu (ER)

C_B = faktor koreksi terhadap diameter bor

C_R = faktor koreksi untuk panjang batang SPT

C_S = koreksi terhadap tabung contoh (samplers) dengan atau tanpa pelapis

Nilai faktor koreksi yang harus digunakan untuk menyelesaikan persamaan tersebut menurut Seed dan Idriss (1982) yaitu dengan Persamaan 3.13 berikut

$$C_N = \left(\frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma'_v}{P_a}} \right) \quad (3.13)$$

dengan:

C_N = nilai C_N tidak boleh lebih dari 1,7

σ'_v = tegangan vertikal efektif (kN/m²)

P_a = 100 kN/m²

Robertson dan Wride (1998) menyempurnakan tabel koreksi nilai SPT yang sudah dimodifikasi oleh Skempton (1986) pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 Tabel Faktor Koreksi untuk $(N_1)_{60}$

Faktor	Jenis Alat	Parameter	Koreksi
Tegangan vertikal efektif		C_N	$\left(\frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma'_v}{P_a}}\right)$
Tegangan vertikal efektif		C_N	$C_N \leq 1,7$
Rasio tenaga	Palu donat (<i>Donut hammer</i>)	C_E	0,5 s.d 1,0
Rasio tenaga	Palu pengaman (<i>Safety hammer</i>)	C_E	0,7 s.d 1,2
Rasio tenaga	Palu otomatis (<i>Automatic-trip Donut-type hammer</i>)	C_E	0,8 s.d 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 s.d 1,3

Sumber : Youd, T.L. dan Idriss, I.M. (2001)

Persamaan yang ditemukan oleh Seed dkk dilanjutkan kembali dan disempurnakan oleh Youd dan Idriss (2001). Persamaan 3.14 digunakan untuk memperkirakan nilai faktor koreksi $(N_1)_{60}$ sama dengan nilai koreksi *finer content* (FC).

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta(N_1)_{60} \quad (3.14)$$

dengan α dan β merupakan koefisien yang dipengaruhi presentasi FC yang dapat dicari dengan Persamaan 3.15a sampai Persamaan 3.15d berikut.

$$\alpha = 0, \beta = 1 \quad FC \leq 5\% \quad (3.15a)$$

$$\alpha = \exp[1,76 - (\frac{190}{FC})^2] \quad 5\% < FC < 35\% \quad (3.15b)$$

$$\beta = [0,99 - (\frac{FC^{1,5}}{1000})] \quad 5\% < FC < 35\% \quad (3.15c)$$

$$\alpha = 5, \beta = 1,2 \quad FC \geq 35\% \quad (3.15d)$$

Untuk menghitung nilai CRR dengan data SPT dan magnitudo gempa (M_w) sebesar 7,5 SR dan pasir murni dengan nilai $(N_1)_{60cs} < 37,5$ dapat menggunakan Persamaan 3.16 persamaan yang diusulkan oleh Youd dan Idriss (2001) berikut.

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{\{10 \times (N_1)_{60cs} + 45\}^2} - \frac{1}{200} \quad (3.16)$$

Apabila nilai $(N_1)_{60cs} > 37,5$ maka nilai CRR tanah dengan skala gempa 7,5 SR tidak perlu dihitung, karena pada keadaan ini tanah dianggap sudah cukup kuat untuk menahan beban gempa. Besar nilai $CRR_{7,5} = 2$ untuk $(N_1)_{60cs} > 37,5$.

3.6.3 Safety Factor (SF)

SF terhadap potensi likuefaksi adalah parameter yang digunakan untuk menilai seberapa aman suatu tanah terhadap likuefaksi di bawah kondisi gempa. SF dihitung sebagai rasio antara kemampuan tanah untuk menahan likuefaksi (CRR) dan tegangan siklik yang diterima tanah (CSR). SF terhadap penentuan potensi likuefaksi menggunakan metode NCCER dapat dilihat dengan Persamaan 3.17 berikut.

$$SF = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \quad (3.17)$$

Interpretasi hasil nilai SF mengacu pada Youd dan Idriss (2001), yang menyatakan bahwa:

1. Apabila $SF > 1$, maka tanah dianggap aman terhadap likuefaksi. Artinya, tanah memiliki tahanan yang cukup untuk menahan tegangan siklik yang dihasilkan dari gempa.
2. Apabila $SF = 1$, nilai berikut merupakan batas kritis dimana tanah berada di ambang likuefaksi. Risiko likuefaksi ada, namun tidak pasti.
3. Apabila $SF < 1$, maka tanah dianggap berpotensi likuefaksi. Artinya, tanah tidak memiliki cukup tahanan untuk menahan tegangan siklik yang dihasilkan oleh gempa, sehingga likuefaksi dapat terjadi.

Potensi likuefaksi pada perhitungan SF tidak dihitung secara lebih rinci, keputusan hanya didasarkan pada apakah kondisi tanah memenuhi atau melampaui ambang batas kestabilan.

3.6.4 Potensi Likuefaksi berdasarkan *Liquifaction Potential Index (LPI)*

LPI dihitung berdasarkan integrasi dari kedalaman profil tanah hingga kedalaman maksimum yang dipertimbangkan (umumnya hingga 20 meter). Besar nilai LPI dapat dihitung dengan Teori Iwasaki dkk (1978) pada Persamaan 3.18.

$$LPI = \int_0^H F(z) \cdot w(z) dz \quad (3.18)$$

dengan:

H = kedalaman (19,5 m)

F = faktor keamanan pada tanah yang likuefaksi

$w(z)$ = faktor beban yang dipengaruhi kedalaman

Beberapa faktor menjadi syarat untuk menentukan besarnya faktor keamanan dan faktor beban, Faktor keamanan bernilai 0, apabila $SF \geq 1$, Apabila $SF < 1$ maka digunakan Persamaan 3.19 untuk mencari nilai faktor keamanan.

$$F(z) = 1 - SF \quad (3.19)$$

Faktor beban bernilai 0, apabila $z \geq 20$, apabila $z < 20$ maka digunakan Persamaan 3.20 untuk mencari nilai faktor beban.

$$w(z) = 10 - 0,5z \quad (3.20)$$

Perhitungan LPI untuk lapisan tanah dengan kedalaman kurang dari 20 m dapat dapat dihitung menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh Luna dan Frost (1998) pada Persamaan 3.21.

$$LPI = w_i f_i H_i \quad (3.21)$$

Nilai LPI memberikan indikasi tentang tingkat potensi likuefaksi pada suatu lokasi. Tabel 3.7 berikut merupakan klasifikasi potensi likuefaksi menurut Iwasaki dkk (1982).

Tabel 3.7 Klasifikasi Probabilitas Likuefaksi

LPI	Kemungkinan Likuefaksi
0	Tidak ada potensi likuefaksi
$0 < LPI \leq 5$	Potensi likuefaksi rendah
$5 < LPI \leq 15$	Potensi likuefaksi sedang.
$LPI > 15$	Potensi likuefaksi tinggi

Sumber : Iwasaki dkk (1982)

Adapun perhitungan nilai ΣLPI yang digunakan untuk menentukan tingkat potensi likuefaksi secara menyeluruh pada seluruh lapisan kedalaman yang ditinjau. Untuk perhitungan ΣLPI dengan kedalaman titik yang ditinjau penulis, maka dapat digunakan Persamaan 3.22.

$$\Sigma LPI = LPI_{1,5} + LPI_i + \dots + LPI_{19,5} \quad (3.22)$$

dengan:

ΣLPI = Total nilai LPI

$LPI_{1,5}$ = Nilai LPI pada kedalaman 1,5

LPI_i = Nilai LPI pada kedalaman i

$LPI_{19,5}$ = Nilai LPI pada kedalaman 19,5

Adapun tabel klasifikasi untuk menunjukkan tingkat potensi terjadinya likuefaksi menurut Hadmoko dkk (2010) pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Klasifikasi Nilai $ELPI$

Nilai LPI	Klasifikasi
0-20	Sangat Rendah
21-40	Rendah
41-60	Sedang
61-80	Tinggi
>80	Sangat Tinggi

Sumber : Hadmoko dkk (2010)

3.7 Probabilitas Potensi Likuefaksi

Tingkat potensi likuefaksi merupakan penentuan mengenai seberapa besar kemungkinan tanah di suatu wilayah mengalami likuefaksi. Faktor-faktor seperti sifat tanah, kedalaman air tanah, intensitas gempa, dan sejarah gempa di suatu wilayah menjadi faktor penentuan seberapa besar tingkat potensi likuefaksi terjadi di wilayah tersebut. Untuk memperoleh gambaran yang lebih akurat tentang kemungkinan terjadinya likuefaksi, maka diperlukan probabilitas. Pendekatan probabilistik memperhitungkan ketidakpastian dalam kondisi tanah dan parameter gempa, serta memberikan nilai probabilitas terjadinya likuefaksi dalam bentuk presentase. Terdapat beberapa metode untuk menentukan tingkat potensi likuefaksi.

3.7.1 Probabilitas Potensi Likuefaksi berdasarkan Metode Juang, dkk (2008)

Analisis probabilitas dengan metode Juang dkk (2008) ini menggabungkan parameter tanah dan beban seismik yang memungkinkan penentuan risiko likuefaksi lebih akurat. Juang dkk menggunakan persamaan 3.23 untuk menentukan tingkat potensi likuefaksi.

$$P_L = \frac{1}{(1 + \frac{SF}{1,905})^{3,8}} \times 100\% \quad (3.23)$$

dengan:

P_L = Nilai probabilitas likuefaksi (%)

SF = *Safety Factor*

Klasifikasi tingkat potensi likuefaksi dengan menggunakan nilai P_L berdasarkan metode Juang dkk (2008) pada Tabel 3.9 berikut

Tabel 3.9 Klasifikasi Probabilitas Likuefaksi Metode Juang dkk (2008)

Probabilitas	Kemungkinan Likuefaksi
0%-10%	Sangat Rendah
10%-30%	Rendah
30%-50%	Sedang
50%-70%	Tinggi
70%-100%	Sangat Tinggi

Sumber : Juang dkk (2010)

3.7.2 Probabilitas Potensi Likuefaksi berdasarkan Metode Sonmez dan Gokceoglu (2005)

Analisis tingkat potensi likuefaksi yang dilakukan oleh Sonmez dan Gokceoglu merupakan pengembangan analisis potensi likuefaksi dengan metode LPI yang dilakukan oleh Iwasaki, dkk (1984). Persamaan 3.24 berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan besar nilai probabilitas likuefaksi.

$$P_L = \frac{1}{\left(1 + \frac{SF}{1,905}\right)^{4,5}} \times 100\% \quad (3.24)$$

dengan:

P_L = Nilai probabilitas likuefaksi (%)

SF = *Safety Factor*

Tabel 3.10 Klasifikasi Probabilitas Likuefaksi Metode Sonmez dan Gokceoglu (2005)

Probabilitas	Kemungkinan Likuefaksi
0%-20%	Sangat Rendah

Lanjutan Tabel 3.10 Klasifikasi Probabilitas Likuefaksi Metode Sonmez dan Gokceoglu (2005)

Probabilitas	Kemungkinan Likuefaksi
20%-40%	Rendah
40%-60%	Sedang
60%-80%	Tinggi
80%-100%	Sangat Tinggi

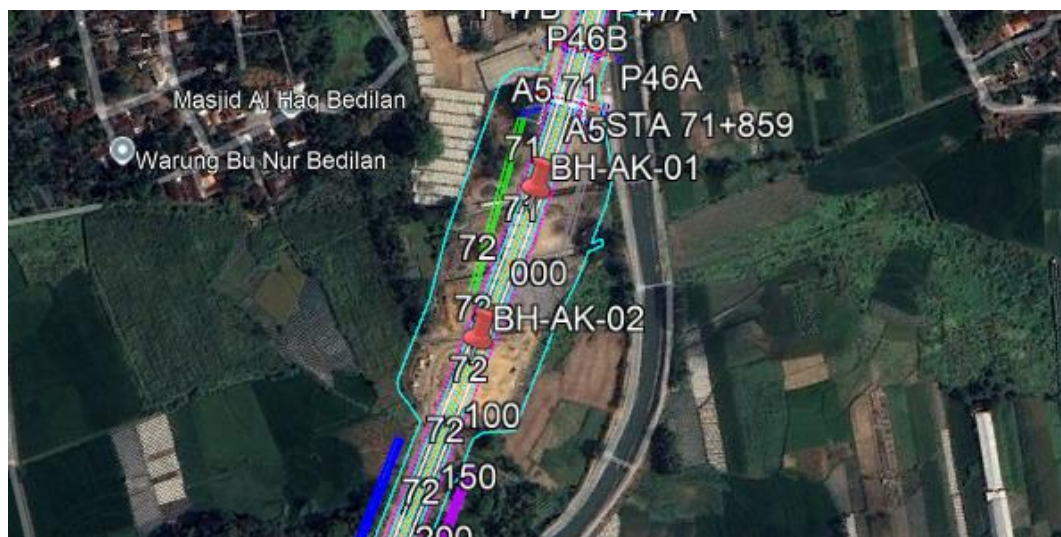
Sumber : Sonmez dan Gokceoglu (2005)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Proyek Pembangunan Jalan Tol Jogja-Bawen Paket 1 Seksi 1. Lokasi ini dipilih karena memiliki karakteristik tanah yang berpasir, sesuai dengan karakteristik tanah yang dimiliki pada wilayah yang berpotensi likuefaksi. Selain itu, wilayah ini juga terdapat di sekitar Sesar Opak, dimana daerah tersebut rawan terhadap likuefaksi. Secara khusus, wilayah memiliki sejarah gempa bumi yang cukup besar. Pemilihan wilayah ini didasarkan beberapa faktor, salah satunya terdapat banyak bangunan publik seperti pasar, terminal, tempat wisata yang perlu dilakukan upaya mitigasi dan perencanaan pembangunan infrastruktur yang lebih aman serta tahan gempa. Gambar lokasi yang akan dilakukan penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.1. yaitu terletak pada titik BH-AK-01 dan BH-AK-02



Gambar 4.1 Peta Lokasi Penelitian

Sumber : *Google Earth* (2024)

4.2 Tahapan Penelitian

Dalam pelaksanaan proses penelitian ini, akan dibagi menjadi beberapa tahapan, antara lain sebagai berikut:

1. Tahapan pengumpulan data, pada tahapan ini dilakukan pengumpulan data-data tanah di titik BH. AK-01 (STA. 71+095) dan BH AK-02 (STA.72+075) pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Jogja - Bawen Paket 1 Seksi 1.
2. Tahapan analisis data, pada tahapan ini dilakukan dengan menganalisis data hasil pengujian menggunakan program *Microsoft Excel*.
3. Tahapan penulisan laporan penelitian serta kesimpulan, pada tahapan ini dilakukan penulisan Laporan Tugas Akhir kemudian dibuatlah kesimpulan mengenai potensi likuefaksi pada wilayah tersebut.

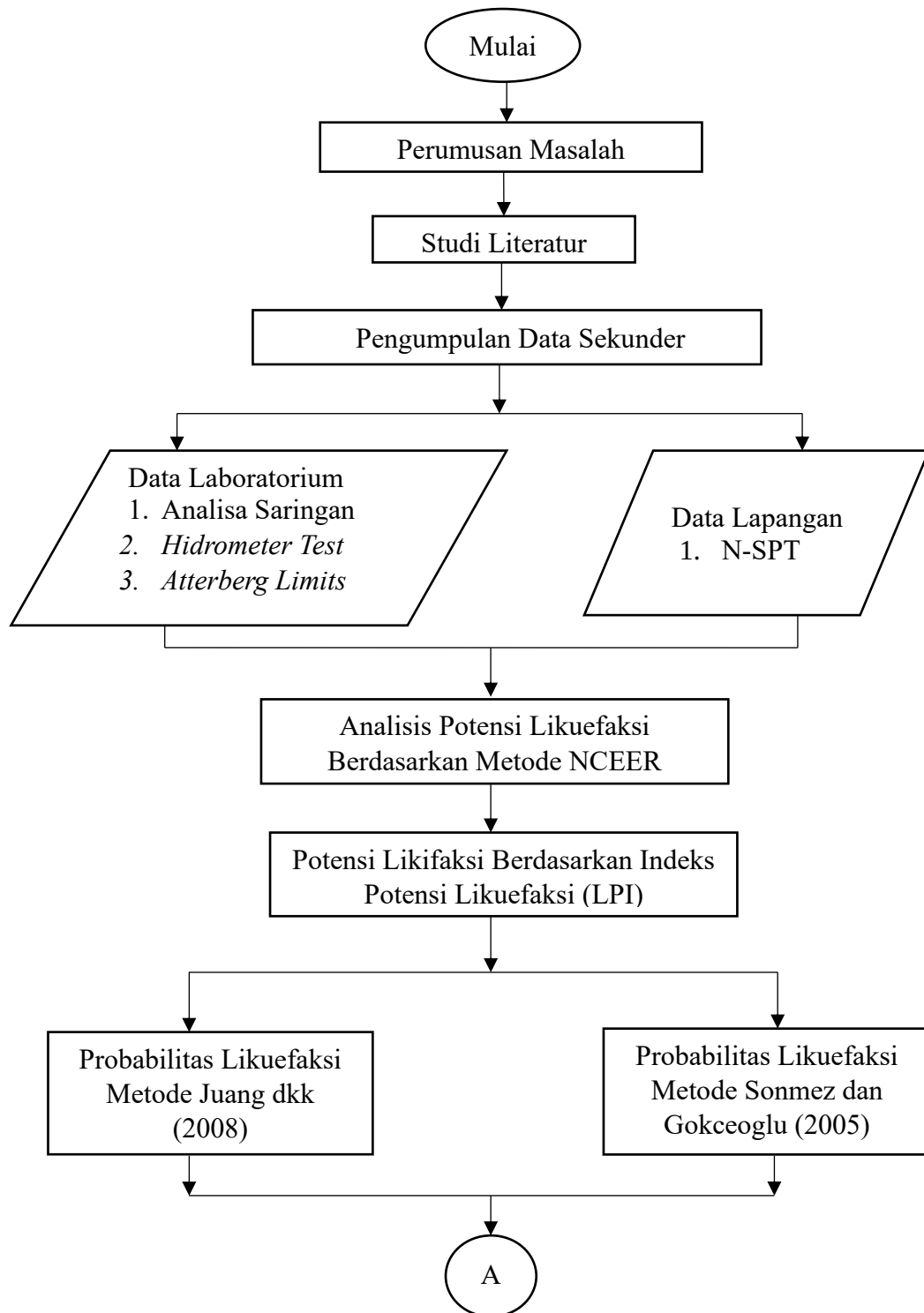
4.2.1 Analisis Data Tanah

Berdasarkan data SPT yang diambil dari laboratorium mekanika Tanah, Universitas Islam Indonesia pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Jogja - Bawen Paket 1 Seksi 1 pada titik-titik dan kedalaman tertentu. Langkah-langkah untuk menentukan potensi likuefaksi pada wilayah tersebut adalah sebagai berikut.

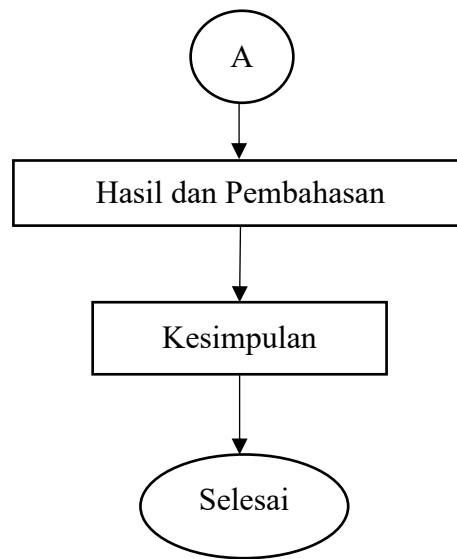
1. Menentukan apakah tanah pada lokasi yang akan dianalisis memiliki potensi likuefaksi atau tidak menggunakan Kurva Tsuchida (1979),
2. Menentukan besar nilai CSR,
3. Menentukan besar CRR dengan nilai magnitudo gempa sebesar 7,5 berdasarkan data SPT,
4. Melakukan perbandingan nilai CRR dan CSR untuk menentukan nilai SF sehingga dapat diketahui potensi likuefaksi,
5. Melakukan perhitungan tingkat potensi likuefaksi dengan metode LPI,
6. Melakukan perhitungan nilai probabilitas likuefaksi untuk mengetahui tingkat potensi likuefaksi.

4.3 Bagan Alir Penelitian

Penulis melakukan penelitian mulai dari mengidentifikasi masalah hingga penarikan kesimpulan. Pembuatan bagan alir dimaksudkan untuk memudahkan penulis dalam penelitiannya serta memudahkan pembaca untuk memahami. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Flowchart Penelitian



Lanjutan Gambar 4.2 *Flowchart* Penelitian

BAB V PEMBAHASAN

5.1 Deskripsi Umum dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di lokasi proyek yaitu pembangunan Jalan Tol Jogja-Bawen Paket 1 Seksi 1, yaitu pada STA. 71+950 dan STA. 72+070. Dengan koordinat titik bor BH-AK 01 (Latitude: 421748.00; Longitude: 9146456.00) dan BH-AK 02 (Latitude: 421820.00; Longitude: 9146354.00), lokasi ini berada pada daerah Banyurejo, Kecamatan Tempel, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.



Gambar 5.1 Lokasi Penelitian

5.2 Data Penyelidikan Tanah

1. Hasil Analisis Distribusi Ukuran Butir (Saringan)

Pengujian laboratorium dilakukan dengan metode analisis saringan untuk mengetahui proporsi ukuran partikel tanah pada tiap lapisan. Hasil dari

pengujian ini disajikan dalam bentuk tabel data analisis saringan yang memuat persentase berat tertahan dan persen kumulatif lolos pada setiap ukuran saringan. Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan didapatkan data seperti Tabel 5.1 dan Tabel 5.2.

Tabel 5.1 Data Hasil Pengujian Distribusi Saringan Titik BH-AK-01

Diameter	Presentase Lolos (%)				
	Kedalaman 1,00-1,50	Kedalaman 5,50-6,00	Kedalaman 11,50-12,00	Kedalaman 16,00-16,50	Kedalaman 19,00-10,50
4,76	99,8	99,9	95	94	100
2	99	99	90	87	98
1	98	98	85	81	97
0,5	97	97	78	71	94
0,25	95	97	70	65	87
0,15	90	93	64	62	78
0,074	86	83	59	50	70
0,041	58	69	33	29	48
0,03	56	64	30	27	47
0,02	52	57	25	23	42
0,014	43	54	23	21	36
0,013	38	48	17	17	33
0,009	33	42	14	13	27
0,0065	27	34	11	10	27
0,0032	19	22	7	6	11
0,0015	12	14	6	6	11

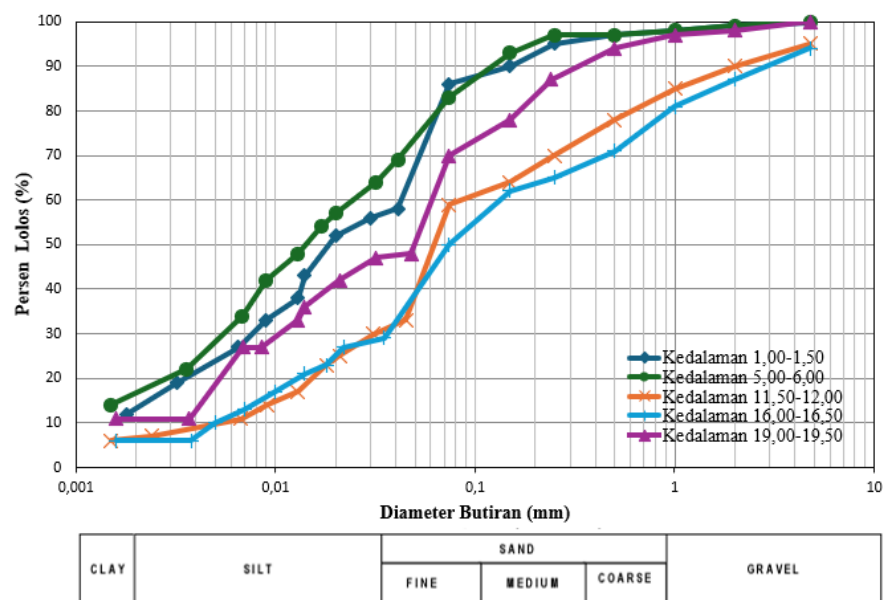
Tabel 5.2 Data Hasil Pengujian Distribusi Saringan Titik BH-AK-02

Diameter	Presentase Lolos (%)				
	Kedalaman 1,00-1,50	Kedalaman 5,50-6,00	Kedalaman 11,50-12,00	Kedalaman 16,00-16,50	Kedalaman 19,00-10,50
4,76	99,8	100	96	100	100
2	98	100	90	99	100
1	97	100	86	84	98
0,5	94	98	78	49	79
0,25	91	95	68	24	36
0,15	87	90	63	10	11
0,074	86	87	59	3	1
0,041	65	54	37	3	1

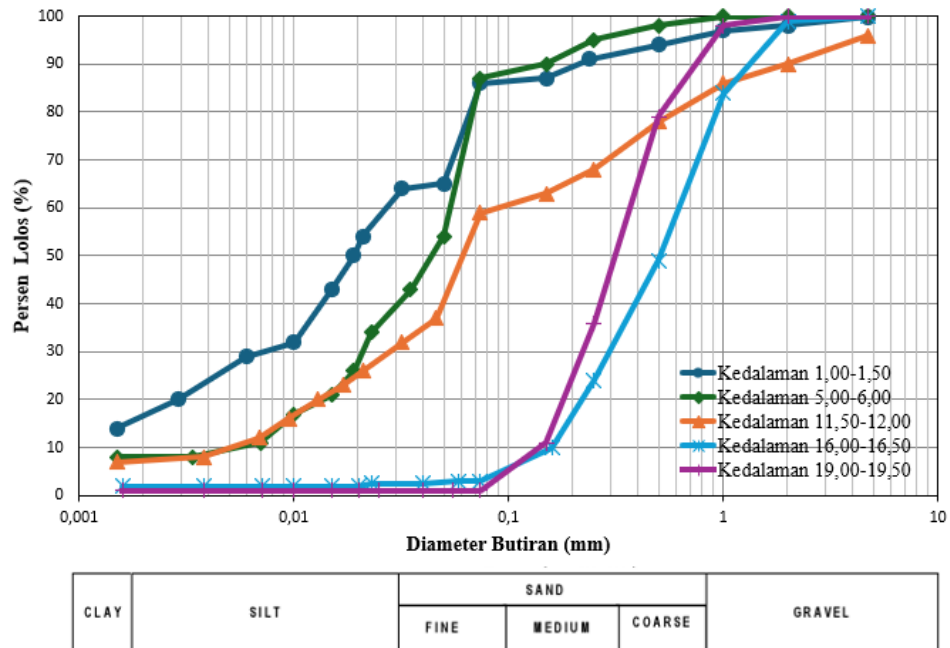
Lanjutan Tabel 5. 2 Data Hasil Pengujian Distribusi Saringan Titik BH-AK-02

Diameter	Presentase Lolos (%)				
	Kedalaman 1,00-1,50	Kedalaman 5,50-6,00	Kedalaman 11,50-12,00	Kedalaman 16,00-16,50	Kedalaman 19,00-19,50
0,03	64	43	32	2,5	1
0,02	54	34	26	2,5	1
0,014	50	26	23	2	1
0,013	43	21	20	2	1
0,009	32	17	16	2	1
0,0065	29	11	12	2	1
0,0032	20	8	8	2	1
0,0015	14	8	7	2	1

Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan pada tabel sebelumnya, selanjutnya dilakukan penyusunan grafik distribusi gradasi butiran tanah untuk menggambarkan sebaran ukuran partikel tanah. Grafik distribusi saringan pada titik BH AK-01 dan BH AK-02 dapat dilihat pada Gambar 5.2 dan Gambar 5.3.



Gambar 5.2 Grafik Distribusi Analisa Saringan BH-AK-01



Gambar 5.3 Grafik Distribusi Analisa Saringan BH-AK-02

Dari grafik tersebut didapatkan hasil analisis gradasi tanah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.3

Tabel 5.3 Hasil Analisis Gradasi Tanah Titik BH-AK-02

Kedalaman	BH-AK-01						
	Batu (%)	Pasir (%)	Lanau (%)	Lempung (%)	D_{60}	D_{30}	D_{10}
1,00-1,50	0,57	13,24	71,87	14,32	0,0012	0,008	0,045
5.50-6.00	0,57	15,99	67,35	16,10	0,001	0,006	0,024
11.50-12.00	5,05	36,25	52,16	6,54	0,0056	0,033	0,093
16.00-16.50	5,54	44,14	44,54	5,78	0,0069	0,05	0,186
19.00-19.50	0,06	29,53	63,69	6,71	0,0033	0,011	0,062

Tabel 5.4 Hasil Analisis Gradasi Tanah Titik BH-AK-02

Kedalaman	BH-AK-02						
	Batu (%)	Pasir (%)	Lanau (%)	Lempung (%)	D_{60}	D_{30}	D_{10}
1,00-1,50	0,89	13,43	70,46	15,22	0,0011	0,007	0,029
5.50-6.00	0,00	12,20	79,27	8,53	0,0028	0,021	0,057
11.50-12.00	3,78	37,50	54,76	3,96	0,0058	0,031	0,104

Lanjutan Tabel 5.4 Hasil Analisis Gradasi Tanah Titik BH-AK-02

Kedalaman	BH-AK-02						
	Batu (%)	Pasir (%)	Batu (%)	Lempung (%)	Batu (%)	D₃₀	Batu (%)
16.00-16.50	0,00	96,94	1,74	1,32	0,1493	0,310	0,668
19.00-19.50	0,00	97,98	1,26	0,76	0,1441	0,225	0,391

Dengan hasil D₁₀, D₃₀, dan D₆₀ pada Tabel 5.4 maka didapatkan nilai C_u dan C_c, berikut merupakan contoh perhitungan C_u dan C_c pada titik BH-AK-01 di kedalaman 1,00-1,50.

$$\begin{aligned}
 C_u &= \frac{D_{60}}{D_{10}} \\
 &= \frac{0,045}{0,0012} \\
 &= 37,500 \\
 C_c &= \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \\
 &= \frac{0,008^2}{0,012 \times 0,045} \\
 &= 1,185
 \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama dilakukan pada tiap kedalaman di titik BH-AK-01 dan BH-AK-02. Tabel 5.5 merupakan rekapitulasi perhitungan C_u dan C_c

Tabel 5.5 Rekapitulasi Perhitungan C_u dan C_c

Kedalaman	BH-AK-01		BH-AK-02	
	C_u	C_c	C_u	C_c
1,00-1,50	37,500	1,185	26,364	1,536
5.50-6.00	24,000	1,500	20,357	2,763
11.50-12.00	16,607	2,091	17,931	1,593
16.00-16.50	26,957	1,948	4,608	0,936
19.00-19.50	18,788	0,591	2,713	0,899

Berdasarkan Tabel 5.5, menunjukkan nilai C_u dan C_c pada kedua titik bor, yaitu BH-AK-O1 dan BH-AK-02 menunjukkan variasi pada tiap kedalaman. Pada

Titik BH-AK-01, nilai C_u berada diantara 16,706 hingga 38,699, sedangkan nilai C_c berada dalam rentang 0,636 dan 2,039. Nilai C_u tertinggi sebesar 38,699 terdapat pada kedalaman 1,00-1,50 m yang mengindikasikan tanah bergradasi baik, sementara nilai C_c yang mendekati nilai 1 pada sebagian besar kedalaman tanah menunjukkan kelengkungan gradasi tanah masih dalam kondisi batas ideal. Pada titik BH-AK-02 menunjukkan nilai C_u yang lebih rendah dengan kisaran 2,717 hingga 25,961 serta nilai C_c antara 0,900-2,834. Kedalaman 5,50-6,00 m pada BH-AK-02 menunjukkan nilai C_c tertinggi sebesar 2,834 hal ini menunjukkan bahwa campuran butiran tanah yang lebih seimbang. Secara umum, tanah pada BH-AK-01 menunjukkan gradasi yang lebih seragam dibandingkan BH-AK-02.

2. Hasil Pengujian SPT

Data penyelidikan tanah di lokasi penelitian diperoleh melalui pengujian lapangan menggunakan uji SPT di dua titik bor, yaitu BH AK-01 dan BH AK-02. Hasil uji SPT menunjukkan nilai N-SPT yang bervariasi pada setiap kedalaman, Nilai SPT menjadi acuan dalam analisis potensi likuefaksi, hasil pengujian SPT terdapat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian SPT

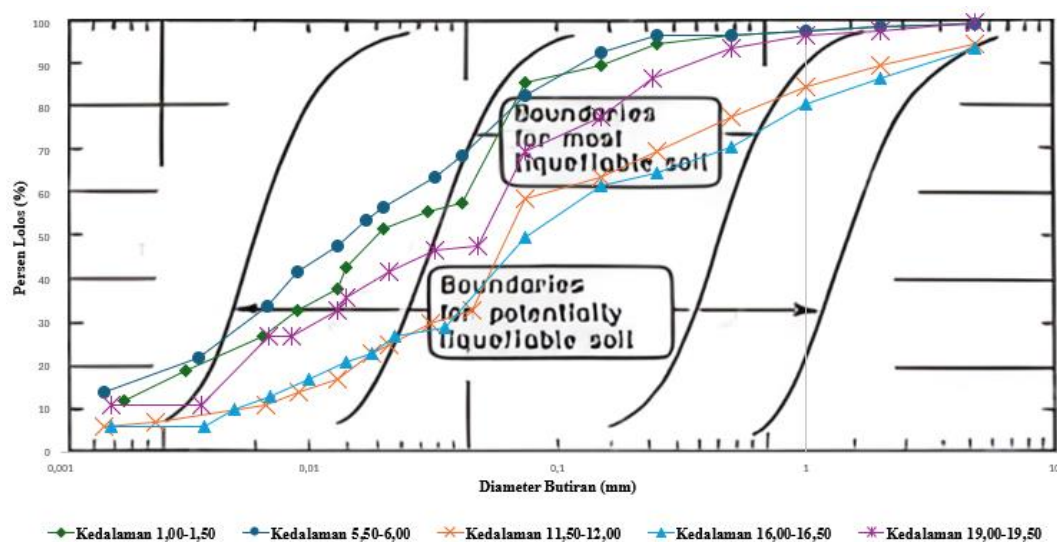
No	Kedalaman	BH-AK 01		BH-AK 02	
		Penetrasi (cm)	Nilai SPT	Penetrasi (cm)	Nilai SPT
1	1,50	30	4	30	7
2	3,00	30	10	30	49
3	4,50	30	8	30	21
4	6,00	30	15	30	22
5	7,50	30	20	30	40
6	9,00	30	16	30	60
7	10,50	30	12	30	7
8	12,00	30	6	30	9
9	13,50	30	6	30	15

Lanjutan Tabel 5.6 Hasil SPT

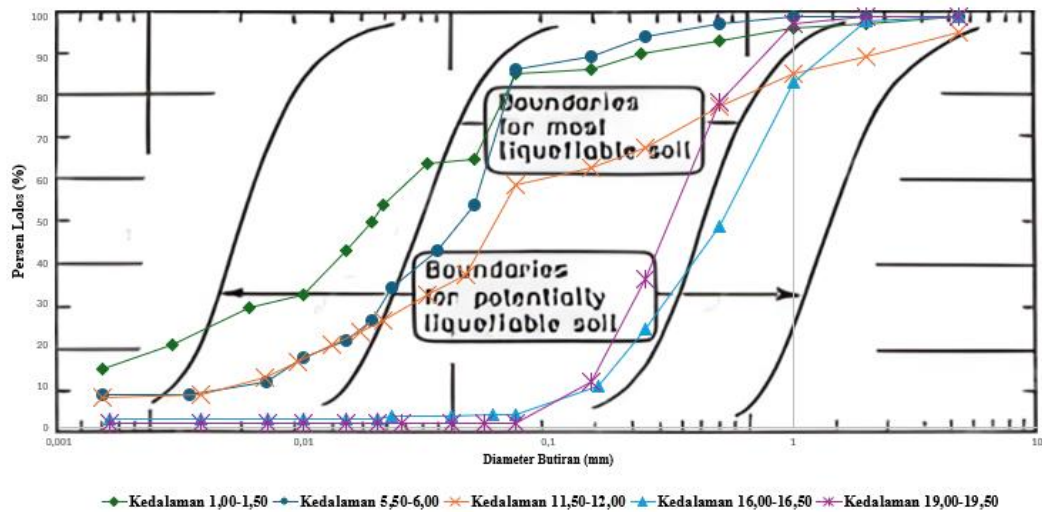
No	Kedalaman	BH-AK 01		BH-AK 02	
		Penetrasi (cm)	Nilai SPT	Penetrasi (cm)	Nilai SPT
10	15,00	30	25	30	38
11	16,50	30	15	30	31
12	18,00	30	60	30	28
13	19,50	30	60	30	40

5.3 Analisis Potensi Likuefaksi Berdasarkan Data Laboratorium

Analisis awal terhadap potensi likuefaksi dapat dilakukan berdasarkan distribusi ukuran butiran tanah. Salah satu pendekatan yang digunakan adalah metode Kurva Tsuchida (1970), dengan grafik ini akan mengidentifikasi zona rentan likuifkasi berdasarkan hasil pengujian analisa saringan. Kurva Tsuchida memiliki batas rentan Likuefaksi, yaitu *boundaries for most liquefiable soil* dan *boundaries for potentially liquefiable soil*. Pada Gambar 5.4 menampilkan hasil grafik distribusi saringan yang sudah di analisis menggunakan Kurva Tsuchida.



Gambar 5.4 Hasil Grafik Distribusi Analisa Saringan dan Kurva Tsuchida Titik BH-AK-01



Gambar 5.5 Hasil Grafik Distribusi Analisa Saringan dan Kurva Tsuchida Titik BH-AK-02

Berdasarkan Gambar 5.4 dan 5.5 diatas, menunjukkan pada titik BH-AK-01 hampir pada semua kedalaman kurva distribusi saringan berada dalam area *boundaries for most liquefiable soil*, artinya pada ketiga kedalaman tersebut memiliki potensi likuefaksi yang sangat tinggi. Sedangkan untuk titik BH-AK-02 pada kedalaman 1,00-1,50, 5,50-6,00, 11,50-12,00 berada dalam area *boundaries for most liquefiable*, menunjukkan pada kedalaman tersebut memiliki potensi likuefaksi yang tinggi. Pada kedalaman 16,00-16,50 kurva distribusi berada dalam area batas antara *potentially liquefiable* dan *non-liquefiable*, artinya pada kedalaman tersebut memiliki risiko likuefaksi, namun masih rendah, dan untuk kedalaman 19,00-19,50 sebagian kurva distribusi menunjukkan berada keluar dari batas likuefaksi, menunjukkan bahwa lapisan ini dianggap memiliki risiko likuefaksi rendah atau bahkan tidak likuefaksi. Perhitungan yang sama juga pernah dilakukan oleh Prayitno, D.P. dan Artati, H.K (2021)

5.4 Analisis Potensi Likuefaksi Berdasarkan Data Lapangan

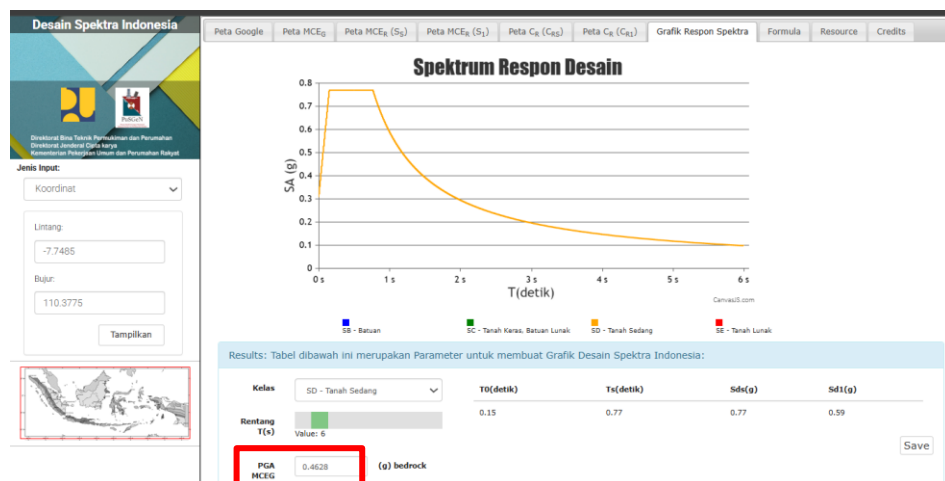
Analisis potensi likuefaksi pada penelitian ini menggunakan Metode NCEER untuk menghitung SF terhadap likuefaksi dengan mempertimbangkan nilai CSR dan CRR. Analisis perhitungan likuefaksi untuk penelitian ini juga pernah dilakukan oleh Diana, N.A., dkk. (2022).

5.4.1 Metode *Cyclic Stress Ratio* (CSR)

Untuk mengetahui potensi likuefaksi, maka dihitung nilai CSR dengan menggunakan persamaan Seed dan Idriss (1971). Berikut merupakan analisis data SPT Metode CSR yang diambil sebagai contoh yaitu titik BH-AK-01-SC.

1. Menentukan nilai $\alpha_{\max}$

- Berdasarkan peta daerah gempa, lokasi penelitian terletak pada daerah Banyurejo, Kecamatan Tempel, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta berdasarkan laman resmi milik Direktorat Jenderal Cipta Karya, didapatkan nilai $\alpha_{\max}$ sebesar 0,4628g seperti Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Spektrum Respons Desain

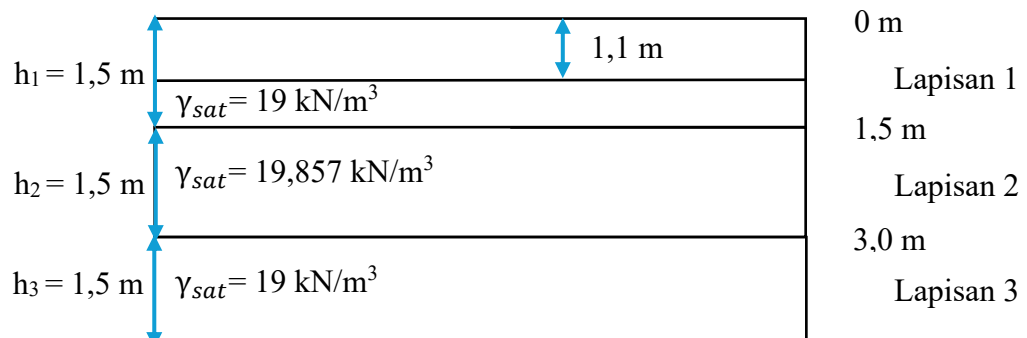
2. Perhitungan tegangan efektif (σ')

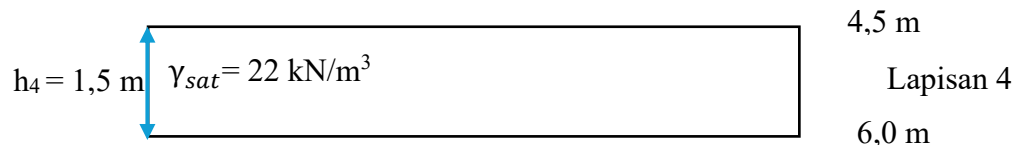
Data umum:

Muka Air Tanah (MAT) = 1,1 m

Berat Volume Air (γ_w) = 9,81 kN/m³

Kedalaman Lapisan = 19,50 m





a. Kedalaman 1,5 m

$$\begin{aligned}\text{Tegangan total } (\sigma_{v1}) &= h \times \gamma_{sat} \\ &= 0,4 \times 19 \\ &= 7,600 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tekanan air pori } (u) &= h_w \times \gamma_w \\ &= 0,4 \times 9,81 \\ &= 3,924 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan efektif } (\sigma'_{v1}) &= \sigma_{v1} - u \\ &= 7,600 - 3,924 \\ &= 3,676 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

b. Kedalaman 3 m

$$\begin{aligned}\text{Tegangan total } (\sigma_{v2}) &= \sigma_{v1} + (h \times \gamma_{sat}) \\ &= 7,600 + (1,5 \times 19,857) \\ &= 37,386 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tekanan air pori } (u) &= h_w \times \gamma_w \\ &= 1,9 \times 9,81 \\ &= 18,639 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan efektif } (\sigma'_{v2}) &= \sigma_{v2} - u \\ &= 37,386 - 18,63 \\ &= 18,747 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

c. Kedalaman 4,5 m

$$\begin{aligned}\text{Tegangan total } (\sigma_{v3}) &= \sigma_{v2} + (h \times \gamma_{sat}) \\ &= 37,386 + (1,5 \times 19,00) \\ &= 65,886 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tekanan air pori } (u) &= h_w \times \gamma_w \\ &= 3,4 \times 9,81\end{aligned}$$

$$= 33,354 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tegangan efektif } (\sigma'v_3) = \sigma_{v3} - u$$

$$= 65,886 - 33,354$$

$$= 32,532 \text{ kN/m}^2$$

d. Kedalaman 6 m

$$\text{Tegangan total } (\sigma_{v4}) = \sigma_{v3} + (h \times \gamma_{\text{sat}})$$

$$= 65,886 + (1,5 \times 22,00)$$

$$= 98,886 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tekanan air pori } (u) = h_w \times \gamma_w$$

$$= 4,9 \times 9,81$$

$$= 48,069 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tegangan efektif } (\sigma'v_4) = \sigma_{v4} - u$$

$$= 98,886 - 48,069$$

$$= 50,817 \text{ kN/m}^2$$

Untuk hasil dari perhitungan tegangan efektif vertikal ($\sigma'v$) dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tegangan Efektif

Titik Bor	Kedalaman (m)	N-SPT	γ_{sat} (kN/m ³)	σ_v (kN/m ²)	u (kN/m ²)	$\sigma'v$ (kN/m ²)
BH-AK-01	1,50	4	19,000	19,040	3,924	3,676
	3,00	41	19,857	7,600	18,639	18,747
	4,50	8	19,000	37,386	33,354	32,532
	6,00	15	22,000	65,886	48,069	50,817
	7,50	20	20,000	98,886	62,784	66,102
	9,00	16	19,200	128,886	77,499	80,187
	10,50	12	20,714	157,686	92,214	96,543
	12,00	6	18,500	188,757	106,929	109,578
	13,50	6	18,143	216,507	121,644	122,077
	15,00	25	21,000	243,721	136,359	138,862

Lanjutan Tabel 5.7 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tegangan Efektif

Titik Bor	Kedalaman (m)	N-SPT	γ_{sat} (kN/m ³)	σ_v (kN/m ²)	u (kN/m ²)	σ'_v (kN/m ²)
BH-AK-01	16,50	15	22,000	308,221	151,074	157,147
	18,00	60	22,000	341,221	165,789	175,432
	19,50	60	22,000	374,221	180,504	193,717
BH-AK-02	1,50	7	19,250	19,250	9,810	9,440
	3,00	49	22,000	52,250	24,525	27,725
	4,50	21	20,200	82,550	39,240	43,310
	6,00	22	20,400	113,150	53,955	59,195
	7,50	40	24,000	149,150	68,670	80,480
	9,00	60	22,000	182,150	83,385	98,765
	10,50	7	19,250	211,025	98,100	112,925
	12,00	9	19,429	240,168	112,815	127,353
	13,50	15	22,000	273,168	127,530	145,638
	15,00	38	22,000	306,168	142,245	163,923
	16,50	31	19,000	334,668	156,960	177,708
	18,00	28	21,600	367,068	171,675	195,393
	19,50	40	22,000	400,068	186,390	213,678

3. Perhitungan nilai Koefisien Tegangan Reduksi (r_d)

Nilai koefisien tegangan reduksi dapat dihitung dengan persamaan Liao dan Whitman (1986), berdasarkan kedalaman tanah dari muka air tanah (z).

a. Kedalaman 1,5 m

$$\begin{aligned}
 r_d &= 1 - (0,00765 \times z) \\
 &= 1 - (0,00765 \times 1,5) \\
 &= 0,989
 \end{aligned}$$

b. Kedalaman 3 m

$$\begin{aligned}
 r_d &= 1 - (0,00765 \times z) \\
 &= 1 - (0,00765 \times 3) \\
 &= 0,977
 \end{aligned}$$

c. Kedalaman 4,5 m

$$\begin{aligned}
 r_d &= 1 - (0,00765 \times z) \\
 &= 1 - (0,00765 \times 4,5) \\
 &= 0,966
 \end{aligned}$$

d. Kedalaman 6 m

$$\begin{aligned}
 r_d &= 1 - (0,00765 \times z) \\
 &= 1 - (0,00765 \times 6) \\
 &= 0,954
 \end{aligned}$$

Untuk hasil dari perhitungan koefisien tegangan reduksi (r_d) dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai Koefisien Tegangan Reduksi berdasarkan kedalaman (z).

Titik Bor	Kedalaman (m)	Koefisien Tegangan Reduksi (r_d)
BH-AK-01	1,50	0,989
	3,00	0,977
	4,50	0,966
	6,00	0,954
	7,50	0,943
	9,00	0,931
	10,50	0,894
	12,00	0,854
	13,50	0,814
	15,00	0,774
	16,50	0,733
	18,00	0,693
BH-AK-02	19,50	0,653
	1,50	0,989
	3,00	0,977
	4,50	0,966
	6,00	0,954
	7,50	0,943
	9,00	0,931
	10,50	0,894

Lanjutan Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai Koefisien Tegangan Reduksi berdasarkan kedalaman (z).

Titik Bor	Kedalaman (m)	Koefisien Tegangan Reduksi (r_d)
BH-AK-02	12,00	0,854
	13,50	0,814
	15,00	0,774
	16,50	0,733
	18,00	0,693
	19,50	0,653

4. Perhitungan nilai CSR (*Cyclic Stress Ratio*)

Perhitungan nilai CSR menggunakan persamaan Seed dan Idriss (1971)

a. Kedalaman 1,5 m

$$\begin{aligned}
 \text{CSR} &= 0,65 \cdot \left(\frac{a_{maks}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) \cdot r_d \\
 &= 0,65 \cdot (0,4628) \cdot \left(\frac{7,600}{3,676} \right) \cdot 0,989 \\
 &= 0,615
 \end{aligned}$$

b. Kedalaman 3 m

$$\begin{aligned}
 \text{CSR} &= 0,65 \cdot \left(\frac{a_{maks}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) \cdot r_d \\
 &= 0,65 \cdot (0,4628) \cdot \left(\frac{37,386}{18,747} \right) \cdot 0,977 \\
 &= 0,586
 \end{aligned}$$

c. Kedalaman 4,5 m

$$\begin{aligned}
 \text{CSR} &= 0,65 \cdot \left(\frac{a_{maks}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) \cdot r_d \\
 &= 0,65 \cdot (0,4628) \cdot \left(\frac{65,886}{32,532} \right) \cdot 0,966 \\
 &= 0,588
 \end{aligned}$$

d. Kedalaman 6 m

$$\begin{aligned}
 \text{CSR} &= 0,65 \cdot \left(\frac{a_{maks}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) \cdot r_d \\
 &= 0,65 \cdot (0,4628) \cdot \left(\frac{98,886}{50,817} \right) \cdot 0,954
 \end{aligned}$$

$$= 0,559$$

Untuk hasil dari perhitungan nilai CSR dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai CSR

Titik Bor	Kedalaman (m)	$\frac{a_{maks}}{g}$	$\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}$	r_d	CSR
BH-AK-01	1,50	0,4628	2,067	0,989	0,615
	3,00	0,4628	1,994	0,977	0,586
	4,50	0,4628	2,025	0,966	0,588
	6,00	0,4628	1,946	0,954	0,559
	7,50	0,4628	1,950	0,943	0,553
	9,00	0,4628	1,966	0,931	0,551
	10,50	0,4628	1,955	0,894	0,526
	12,00	0,4628	1,976	0,854	0,507
	13,50	0,4628	1,996	0,814	0,489
	15,00	0,4628	1,982	0,774	0,461
	16,50	0,4628	1,961	0,733	0,433
	18,00	0,4628	1,945	0,693	0,406
	19,50	0,4628	1,932	0,653	0,380
BH-AK-02	1,50	0,4628	2,039	0,989	0,606
	3,00	0,4628	1,885	0,977	0,554
	4,50	0,4628	1,906	0,966	0,554
	6,00	0,4628	1,911	0,954	0,549
	7,50	0,4628	1,853	0,943	0,526
	9,00	0,4628	1,844	0,931	0,517
	10,50	0,4628	1,869	0,894	0,502
	12,00	0,4628	1,886	0,854	0,484
	13,50	0,4628	1,876	0,814	0,459
	15,00	0,4628	1,868	0,774	0,435
	16,50	0,4628	1,883	0,733	0,416
	18,00	0,4628	1,879	0,693	0,392
	19,50	0,4628	1,872	0,653	0,368

5.4.2 Metode Cyclic Resistance Ratio (CRR)

Perhitungan CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) dilakukan berdasarkan persamaan Youd dan Idriss (2001). Berikut merupakan analisis data SPT CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) yang diambil sebagai contoh yaitu titik BH-AK-01-SC.

1. Perhitungan nilai $(N_1)_{60}$

Perhitungan nilai dilakukan menggunakan tabel nilai faktor koreksi $(N_1)_{60}$ yang sudah dimodifikasi oleh Skempton (1986), dengan data umum sebagai berikut.

Faktor Koreksi Rasio Tenaga (C_E) = 1 (dari Tabel 3.10 Nilai Faktor Koreksi untuk $(N_1)_{60}$)

Faktor Koreksi Diameter Bor (C_B) = 1,05 (dari Tabel 3.10 Nilai Faktor Koreksi untuk $(N_1)_{60}$)

Faktor Koreksi Panjang Batang (C_R) = berdasarkan panjang batang SPT

Faktor Metode Sampling (C_S) = 1 (dari Tabel 3.10 Nilai Faktor Koreksi untuk $(N_1)_{60}$)

a. Kedalaman 1,5 m

$$\begin{aligned}
 (N_1)_{60} &= N_m \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \\
 &= N_m \times \left(\frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma'_v}{P_a}} \right) \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \\
 &= 4 \times \left(\frac{2,2}{1,2 + \frac{3,676}{100}} \right) \times 1 \times 1,05 \times 0,75 \times 1 \\
 &= 5,603
 \end{aligned}$$

b. Kedalaman 3 m

$$\begin{aligned}
 (N_1)_{60} &= N_m \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \\
 &= N_m \times \left(\frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma'_v}{P_a}} \right) \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \\
 &= 41 \times \left(\frac{2,2}{1,2 + \frac{18,747}{100}} \right) \times 1 \times 1,05 \times 0,8 \times 1 \\
 &= 13,319
 \end{aligned}$$

c. Kedalaman 4,5 m

$$\begin{aligned}
(N_1)_{60} &= N_m \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \\
&= N_m \times \left(\frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma'_v}{P_a}} \right) \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \\
&= 8 \times \left(\frac{2,2}{1,2 + \frac{32,532}{100}} \right) \times 1 \times 1,05 \times 0,85 \times 1 \\
&= 10,298
\end{aligned}$$

d. Kedalaman 6 m

$$\begin{aligned}
(N_1)_{60} &= N_m \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \\
&= N_m \times \left(\frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma'_v}{P_a}} \right) \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \\
&= 15 \times \left(\frac{2,2}{1,2 + \frac{50,817}{100}} \right) \times 1 \times 1,05 \times 0,85 \times 1 \\
&= 17,242
\end{aligned}$$

Untuk hasil dari perhitungan nilai CSR dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Perhitungan $(N_1)_{60}$

Titik Bor	Kedalaman (m)	N_m	C_N	C_E	C_B	C_R	C_S	$(N_1)_{60}$
BH-AK-01	1,50	4	1,779	1	1,05	0,75	1	5,603
	3,00	10	1,586	1	1,05	0,8	1	13,319
	4,50	8	1,442	1	1,05	0,85	1	10,298
	6,00	15	1,288	1	1,05	0,85	1	17,242
	7,50	20	1,182	1	1,05	0,95	1	23,584
	9,00	16	1,099	1	1,05	0,95	1	17,540
	10,50	12	1,016	1	1,05	1	1	12,801
	12,00	6	0,958	1	1,05	1	1	6,037
	13,50	6	0,909	1	1,05	1	1	5,725
	15,00	25	0,850	1	1,05	1	1	22,309
	16,50	15	0,794	1	1,05	1	1	12,502
	18,00	60	0,745	1	1,05	1	1	46,914
	18,00	60	0,701	1	1,05	1	1	44,180
	19,50	60	1,779	1	1,05	1	1	5,603

Lanjutan Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Perhitungan $(N_1)_{60}$

Titik Bor	Kedalaman (m)	N_m	C_N	C_E	C_B	C_R	C_S	$(N_1)_{60}$
BH-AK-02	1,50	7	1,700	1	1,05	0,75	1	9,369
	3,00	49	1,489	1	1,05	0,8	1	61,298
	4,50	21	1,347	1	1,05	0,85	1	25,249
	6,00	22	1,228	1	1,05	0,85	1	24,106
	7,50	40	1,097	1	1,05	0,95	1	43,785
	9,00	60	1,006	1	1,05	0,95	1	60,188
	10,50	7	0,945	1	1,05	1	1	6,942
	12,00	9	0,889	1	1,05	1	1	8,405
	13,50	15	0,828	1	1,05	1	1	13,044
	15,00	38	0,775	1	1,05	1	1	28,476
	16,50	31	0,739	1	1,05	1	1	24,054
	18,00	28	0,698	1	1,05	1	1	20,508
	19,50	40	0,659	1	1,05	1	1	27,691

2. Perhitungan nilai $(N_1)_{60cs}$

Perhitungan $(N_1)_{60cs}$ menggunakan persamaan Youd dan Idriss (2022) dengan memperkirakan nilai faktor koreksi $(N_1)_{60}$ sama dengan nilai koreksi FC dengan nilai $\alpha = 5, \beta = 1,2$

a. Kedalaman 1,5 m

$$\begin{aligned}
 (N_1)_{60cs} &= \alpha + \beta(N_1)_{60} \\
 &= 5 + 1,2(5,603) \\
 &= 11,724
 \end{aligned}$$

b. Kedalaman 3 m

$$\begin{aligned}
 (N_1)_{60cs} &= \alpha + \beta(N_1)_{60} \\
 &= 5 + 1,2(13,319) \\
 &= 20,983
 \end{aligned}$$

c. Kedalaman 4,5 m

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

$$= 5 + 1,2(10,298)$$

$$= 17,358$$

d. Kedalaman 6 m

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

$$= 5 + 1,2(17,242)$$

$$= 25,691$$

Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Perhitungan $(N_1)_{60cs}$

Titik Bor	Kedalaman n (m)	FC	α	β	$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60cs}$
BH-AK-01	1,50	86,190	5	1,2	5,603	11,724
	3,00	86,190	5	1,2	13,319	20,983
	4,50	86,190	5	1,2	10,298	17,358
	6,00	83,450	5	1,2	17,242	25,691
	7,50	58,700	5	1,2	23,584	33,301
	9,00	58,700	5	1,2	17,540	26,048
	10,50	58,700	5	1,2	12,801	20,361
	12,00	58,700	5	1,2	6,037	12,245
	13,50	50,320	5	1,2	5,725	11,871
	15,00	50,320	5	1,2	22,309	31,771
	16,50	50,320	5	1,2	12,502	20,003
	18,00	70,400	5	1,2	46,914	61,297
	19,50	70,400	5	1,2	44,180	58,016
BH-AK-02	1,50	85,680	5	1,2	9,369	16,243
	3,00	87,800	5	1,2	61,298	78,557
	4,50	87,800	5	1,2	25,249	35,298
	6,00	87,800	5	1,2	24,106	33,927
	7,50	58,720	5	1,2	43,785	57,542
	9,00	58,720	5	1,2	60,188	77,225
	10,50	58,720	5	1,2	6,942	13,331
	12,00	58,720	5	1,2	8,405	15,086

Lanjutan Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Perhitungan $(N_1)_{60cs}$

Titik Bor	Kedalaman n (m)	FC	α	β	$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60cs}$
BH-AK-02	13,50	3,060	5	1,2	13,044	20,653
	15,00	3,060	5	1,2	28,476	39,171
	16,50	3,060	0	0,985	24,054	23,684
	18,00	2,020	0	0,985	20,508	20,193
	19,50	2,020	0	0,987	27,691	27,335

3. Perhitungan nilai CRR

Perhitungan CRR menggunakan persamaan Youd dan Idriss (2001) dengan contoh perhitungan sebagai berikut.

a. Kedalaman 1,5 m

$$\begin{aligned}
 CRR_{7,5} &= \frac{1}{34-(N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{\{10 \times (N_1)_{60cs} + 45\}^2} - \frac{1}{200} \\
 &= \frac{1}{34-11,724} + \frac{11,724}{135} + \frac{50}{\{10 \times 11,724 + 45\}^2} - \frac{1}{200} \\
 &= 0,129
 \end{aligned}$$

b. Kedalaman 3 m

$$\begin{aligned}
 CRR_{7,5} &= \frac{1}{34-(N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{\{10 \times (N_1)_{60cs} + 45\}^2} - \frac{1}{200} \\
 &= \frac{1}{34-20,983} + \frac{20,983}{135} + \frac{50}{\{10 \times 20,983 + 45\}^2} - \frac{1}{200} \\
 &= 0,228
 \end{aligned}$$

c. Kedalaman 4,5 m

$$\begin{aligned}
 CRR_{7,5} &= \frac{1}{34-(N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{\{10 \times (N_1)_{60cs} + 45\}^2} - \frac{1}{200} \\
 &= \frac{1}{34-17,358} + \frac{17,358}{135} + \frac{50}{\{10 \times 17,358 + 45\}^2} - \frac{1}{200} \\
 &= 0,185
 \end{aligned}$$

d. Lapisan 6 m

$$\begin{aligned}
 CRR_{7,5} &= \frac{1}{34-(N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{\{10 \times (N_1)_{60cs} + 45\}^2} - \frac{1}{200} \\
 &= \frac{1}{34-25,691} + \frac{25,691}{135} + \frac{50}{\{10 \times 25,691 + 45\}^2} - \frac{1}{200} \\
 &= 0,306
 \end{aligned}$$

Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Perhitungan $CRR_{7,5}$

Titik Bor	Kedalaman (m)	$(N_1)_{60cs}$	$CRR_{7,5}$
BH-AK-01	1,50	11,724	0,129
	3,00	20,983	0,228
	4,50	17,358	0,185
	6,00	25,691	0,306
	7,50	33,301	1,672
	9,00	26,048	0,314
	10,50	20,361	0,220
	12,00	12,245	0,133
	13,50	11,871	0,130
	15,00	31,771	0,679
	16,50	20,003	0,215
	18,00	61,297	2,000
	19,50	58,016	2,000
BH-AK-02	1,50	16,243	0,173
	3,00	78,557	2,000
	4,50	35,298	2,000
	6,00	33,927	0,882
	7,50	57,542	2,000
	9,00	77,225	2,000
	10,50	13,331	0,144
	12,00	15,086	0,161
	13,50	20,653	0,224
	15,00	39,171	2,000
	16,50	23,684	0,268
	18,00	20,193	0,218
	19,50	27,335	0,348

5.4.3 Safety Factor (SF)

Setelah memperoleh nilai CSR dan CRR, dilakukan perhitungan nilai SF untuk mengetahui potensi likuefaksi.

1. Kedalaman 1,5 m

$$\begin{aligned} FS &= \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \\ &= \frac{0,129}{0,615} \\ &= 0,209 \text{ (Terjadi Potensi Likuefaksi)} \end{aligned}$$

2. Kedalaman 3 m

$$\begin{aligned} FS &= \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \\ &= \frac{0,228}{0,586} \\ &= 0,389 \text{ (Terjadi Potensi Likuefaksi)} \end{aligned}$$

3. Kedalaman 4,5 m

$$\begin{aligned} FS &= \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \\ &= \frac{0,185}{0,588} \\ &= 0,314 \text{ (Terjadi Potensi Likuefaksi)} \end{aligned}$$

4. Kedalaman 6 m

$$\begin{aligned} FS &= \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \\ &= \frac{0,306}{0,559} \\ &= 0,54831 \text{ (Terjadi Potensi Likuefaksi)} \end{aligned}$$

Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Perhitungan SF

Titik Bor	Kedalaman (m)	CSR	CRR _{7,5}	Nilai SF	Keterangan
BH-AK-01	1,50	0,615	0,129	0,209	Terjadi Potensi Likuefaksi
	3,00	0,586	0,228	0,389	Terjadi Potensi Likuefaksi
	4,50	0,588	0,185	0,314	Terjadi Potensi Likuefaksi
	6,00	0,559	0,306	0,548	Terjadi Potensi Likuefaksi
	7,50	0,553	1,672	3,024	Aman
	9,00	0,551	0,314	0,570	Terjadi Potensi Likuefaksi
	10,50	0,526	0,220	0,418	Terjadi Potensi Likuefaksi
	12,00	0,507	0,133	0,263	Terjadi Potensi Likuefaksi
	13,50	0,489	0,130	0,266	Terjadi Potensi Likuefaksi
	15,00	0,461	0,679	1,473	Aman
	16,50	0,433	0,215	0,498	Terjadi Potensi Likuefaksi
	18,00	0,406	2,000	4,930	Aman
	19,50	0,380	2,000	5,268	Aman
BH-AK-02	1,50	0,606	0,173	0,285	Terjadi Potensi Likuefaksi
	3,00	0,554	2,000	3,611	Aman
	4,50	0,554	2,000	3,613	Aman
	6,00	0,549	0,882	1,608	Aman
	7,50	0,526	2,000	3,806	Aman
	9,00	0,517	2,000	3,871	Aman
	10,50	0,502	0,144	0,286	Terjadi Potensi Likuefaksi
	12,00	0,484	0,161	0,332	Terjadi Potensi Likuefaksi
	13,50	0,459	0,224	0,487	Terjadi Potensi Likuefaksi
	15,00	0,435	2,000	4,602	Aman
	16,50	0,416	0,268	0,645	Terjadi Potensi Likuefaksi
	18,00	0,392	0,218	0,556	Terjadi Potensi Likuefaksi
	19,50	0,368	0,348	0,946	Terjadi Potensi Likuefaksi

5.4.4 Tingkat Potensi Likuefaksi Metode *Liquifaction Potential Index* (LPI)

Perhitungan besar nilai LPI dapat dihitung dengan persamaan yang dikemukakan oleh Luna dan Forst (1998)

1. Kedalaman 1,5 m

$$LPI = w_i f_i H_i$$

$$= 9,25 \cdot 0,791 \cdot 1,5$$

$$= 10,972 \text{ (Potensi Likuefaksi Sedang)}$$

2. Kedalaman 3 m

$$LPI = w_i f_i H_i$$

$$= 8,5 \cdot 0,611 \cdot 1,5$$

$$= 7,790 \text{ (Potensi Likuefaksi Sedang)}$$

3. Kedalaman 4,5 m

$$LPI = w_i f_i H_i$$

$$= 7,75 \cdot 0,686 \cdot 1,5$$

$$= 7,975 \text{ (Potensi Likuefaksi Sedang)}$$

4. Kedalaman 6

$$LPI = w_i f_i H_i$$

$$= 7 \cdot 0,452 \cdot 1,5$$

$$= 4,743 \text{ (Potensi Likuefaksi Sedang)}$$

Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tingkat Potensi Likuefaksi Berdasarkan Metode LPI

Titik Bor	Kedalaman (m)	Nilai LPI	ΣLPI	Keterangan
BH-AK-01	1,50	10,972	10,972	Potensi Likuefaksi Sedang
	3,00	7,790	18,762	Potensi Likuefaksi Sedang
	4,50	7,975	26,737	Potensi Likuefaksi Sedang
	6,00	4,743	31,480	Potensi Likuefaksi Rendah
	7,50	0,000	31,480	Tidak Ada Potensi Likuefaksi
	9,00	3,544	35,024	Potensi Likuefaksi Rendah
	10,50	4,143	39,167	Potensi Likuefaksi Rendah
	12,00	4,422	43,589	Potensi Likuefaksi Rendah
	13,50	3,578	47,167	Potensi Likuefaksi Rendah
	15,00	0,000	47,167	Tidak Ada Potensi Likuefaksi
	16,50	1,318	48,485	Potensi Likuefaksi Rendah
	18,00	0,000	48,485	Tidak Ada Potensi Likuefaksi
	19,50	0,000	48,485	Tidak Ada Potensi Likuefaksi
BH-AK-02	1,50	9,921	9,921	Potensi Likuefaksi Sedang
	3,00	0,000	9,921	Tidak Ada Potensi Likuefaksi
	4,50	0,000	9,921	Tidak Ada Potensi Likuefaksi
	6,00	0,000	9,921	Tidak Ada Potensi Likuefaksi

**Lanjutan Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tingkat Potensi
Likuefaksi Berdasarkan Metode LPI**

Titik Bor	Kedalaman (m)	Nilai LPI	Σ LPI	Keterangan
BH-AK-02	7,50	0,000	9,921	Tidak Ada Potensi Likuefaksi
	9,00	0,000	9,921	Tidak Ada Potensi Likuefaksi
	10,50	5,087	15,008	Potensi Likuefaksi Sedang
	12,00	4,006	19,014	Potensi Likuefaksi Rendah
	13,50	2,499	21,514	Potensi Likuefaksi Rendah
	15,00	0,000	21,514	Tidak Ada Potensi Likuefaksi
	16,50	0,932	22,445	Potensi Likuefaksi Rendah
	18,00	0,666	23,112	Potensi Likuefaksi Rendah
	19,50	0,020	23,132	Potensi Likuefaksi Rendah

5.5 Probabilitas Potensi Likuefaksi

5.5.1 Probabilitas Potensi Likuefaksi Metode Juang dkk (2008)

Perhitungan besar nilai potensi likuefaksi berdasarkan Teori Juang dkk (2008)

1. Kedalaman 1,5 m

$$\begin{aligned}
 P_L &= \frac{1}{(1 + \frac{SF}{1,905})^{3,8}} \times 100\% \\
 &= \frac{1}{(1 + \frac{0,209}{1,905})^{3,8}} \times 100\% \\
 &= 99,98 \% \text{ (Sangat Tinggi)}
 \end{aligned}$$

2. Kedalaman 3 m

$$\begin{aligned}
 P_L &= \frac{1}{(1 + \frac{SF}{1,905})^{3,8}} \times 100\% \\
 &= \frac{1}{(1 + \frac{0,389}{1,905})^{3,8}} \times 100\% \\
 &= 99,76 \text{ (Sangat Tinggi)}
 \end{aligned}$$

3. Kedalaman 4,5 m

$$\begin{aligned}
 P_L &= \frac{1}{(1 + \frac{SF}{1,905})^{3,8}} \times 100\% \\
 &= \frac{1}{(1 + \frac{0,314}{1,905})^{3,8}} \times 100\% \\
 &= 99.89 \text{ (Sangat Tinggi)}
 \end{aligned}$$

4. Kedalaman 6 m

$$\begin{aligned}
 P_L &= \frac{1}{\left(1 + \frac{SF}{1,905}\right)^{3,8}} \times 100\% \\
 &= \frac{1}{\left(1 + \frac{0,548}{1,905}\right)^{3,8}} \times 100\% \\
 &= 99,13 \text{ (Sangat Tinggi)}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tingkat Potensi Likuefaksi Berdasarkan Metode Juang (2008)

Titik Bor	Kedalaman (m)	Nilai P_L (%)	Keterangan
BH-AK-01	1,50	99,98	Sangat Tinggi
	3,00	99,76	Sangat Tinggi
	4,50	99,89	Sangat Tinggi
	6,00	99,13	Sangat Tinggi
	7,50	14,73	Rendah
	9,00	98,99	Sangat Tinggi
	10,50	99,69	Sangat Tinggi
	12,00	99,95	Sangat Tinggi
	13,50	99,94	Sangat Tinggi
	15,00	72,65	Sangat Tinggi
	16,50	99,39	Sangat Tinggi
	18,00	2,63	Sangat Rendah
	19,50	2,05	Sangat Rendah
BH-AK-02	1,50	99,93	Sangat Tinggi
	3,00	8,09	Rendah
	4,50	8,08	Rendah
	6,00	65,58	Tinggi
	7,50	6,72	Sangat Rendah
	9,00	6,33	Sangat Rendah
	10,50	99,93	Sangat Tinggi
	12,00	99,87	Sangat Tinggi
	13,50	99,44	Sangat Tinggi
	15,00	3,38	Sangat Rendah
	16,50	98,39	Sangat Tinggi
	18,00	99,08	Sangat Tinggi
	19,50	93,47	Sangat Tinggi

5.5.2 Tingkat Potensi Likuefaksi Sonmez dan Gockceoglu (2005)

Perhitungan besar nilai potensi likuefaksi berdasarkan Teori Sonmez dan Gockceoglu (2005).

1. Kedalaman 1,5 m

$$\begin{aligned} P_L &= \frac{1}{(1+\frac{SF}{1,905})^{4,5}} \times 100\% \\ &= \frac{1}{(1+\frac{0,209}{1,905})^{4,5}} \times 100\% \\ &= 100 \% \text{ (Sangat Tinggi)} \end{aligned}$$

2. Kedalaman 3 m

$$\begin{aligned} P_L &= \frac{1}{(1+\frac{SF}{1,905})^{4,5}} \times 100\% \\ &= \frac{1}{(1+\frac{0,389}{1,905})^{4,5}} \times 100\% \\ &= 99.90 \% \text{ (Sangat Tinggi)} \end{aligned}$$

3. Kedalaman 4,5 m

$$\begin{aligned} P_L &= \frac{1}{(1+\frac{SF}{1,905})^{4,5}} \times 100\% \\ &= \frac{1}{(1+\frac{0,314}{1,905})^{4,5}} \times 100\% \\ &= 100 \% \text{ (Sangat Tinggi)} \end{aligned}$$

4. Kedalaman 6 m

$$\begin{aligned} P_L &= \frac{1}{(1+\frac{SF}{1,905})^{4,5}} \times 100\% \\ &= \frac{1}{(1+\frac{0,548}{1,905})^{4,5}} \times 100\% \\ &= 99,60 \% \text{ (Sangat Rendah)} \end{aligned}$$

Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tingkat Potensi Likuefaksi Berdasarkan Metode Sonmez dan Gockeoglu (2005)

Titik Bor	Kedalaman (m)	Nilai P_L (%)	Keterangan
BH-AK-01	1,50	100	Sangat Tinggi
	3,00	99,90	Sangat Tinggi

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tingkat Potensi Likuefaksi Berdasarkan Metode Sonmez dan Gockeoglu (2005)

Titik Bor	Kedalaman (m)	Nilai P_L (%)	Keterangan
BH-AK-01	4,50	100	Sangat Tinggi
	6,00	99,60	Sangat Tinggi
	7,50	11,10	Sangat Rendah
	9,00	99,60	Sangat Tinggi
	10,50	99,90	Sangat Tinggi
	12,00	100	Sangat Tinggi
	13,50	100	Sangat Tinggi
	15,00	76,10	Sangat Tinggi
	16,50	99,80	Sangat Tinggi
	18,00	1,40	Sangat Rendah
	19,50	1,00	Sangat Rendah
BH-AK-02	1,50	100	Sangat Tinggi
	3,00	5,30	Sangat Rendah
	4,50	5,30	Sangat Rendah
	6,00	68,20	Tinggi
	7,50	4,30	Sangat Rendah
	9,00	3,90	Sangat Rendah
	10,50	100	Sangat Tinggi
	12,00	100	Sangat Tinggi
	13,50	99,80	Sangat Tinggi
	15,00	1,90	Sangat Rendah
	16,50	99,20	Sangat Tinggi
	18,00	99,60	Sangat Tinggi
	19,50	95,90	Sangat Tinggi

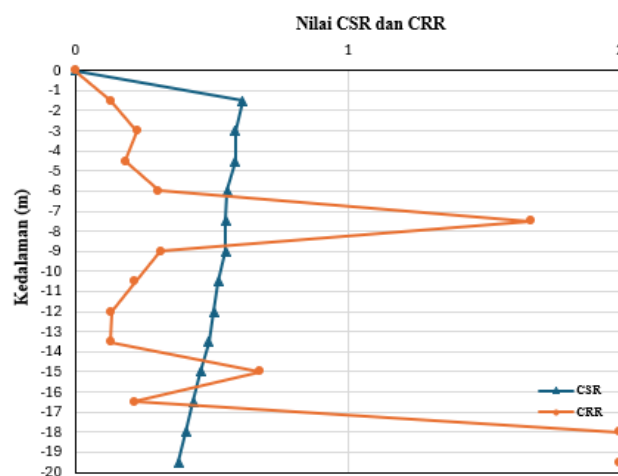
5.6 Pembahasan Hasil Analisis

Berdasarkan hasil analisis perhitungan potensi likuefaksi pada 2 titik BH-AK-01 dan BH-AK-02 di lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Jogja-Bawen adanya potensi likuefaksi pada kedua titik tersebut pada berbagai kedalaman. Pada analisis awal menggunakan Kurva Tsuchida memperoleh hasil analisis bahwa beberapa lapisan tanah pada titik BH-AK-01 dan BH-AK-02 menunjukkan distribusi yang

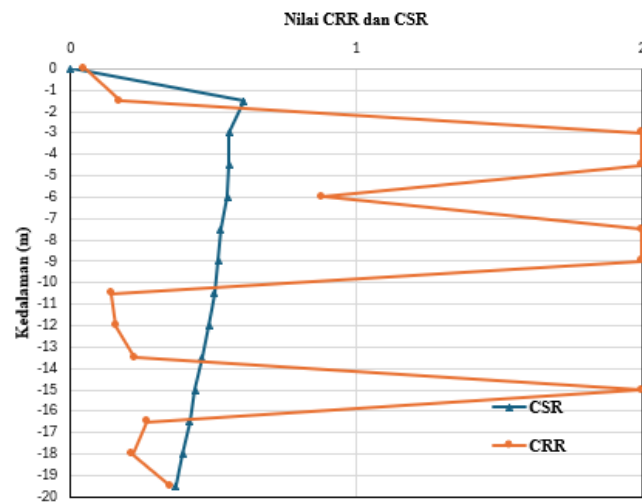
masuk dalam zona *most liquefiable*, khususnya pada titik BH-AK-01. Kondisi ini menunjukkan bahwa tanah di lokasi tersebut memiliki karakteristik yang rentan terhadap likuefaksi, didukung oleh dominasi jenis tanah pasir yang jenuh air serta lokasi yang dekat dengan Sesar Opak dan terpengaruh oleh endapan vulkanik dari Gunung Merapi.

Selanjutnya, analisis dilakukan berdasarkan data lapangan dengan Metode NCEER (1996), dengan menghitung nilai CSR, CRR dan SF. Nilai CSR menunjukkan besar tegangan siklik akibat gempa yang diterima tanah, nilainya akan cenderung meningkat seiring dengan kedalaman. CRR juga menggambarkan kemampuan tanah untuk menahan tegangan. Perhitungan nilai CRR menunjukkan variasi yang berbeda antar kedalaman, hal ini tergantung dengan karakteristik masing-masing tanah seperti kandungan butiran halus, tingkat kepadatan, dan kondisi kejenuhan. Berdasarkan analisis ini menunjukkan bahwa tidak semua kedalaman tanah memiliki ketahanan yang sama terhadap potensi likuefaksi.

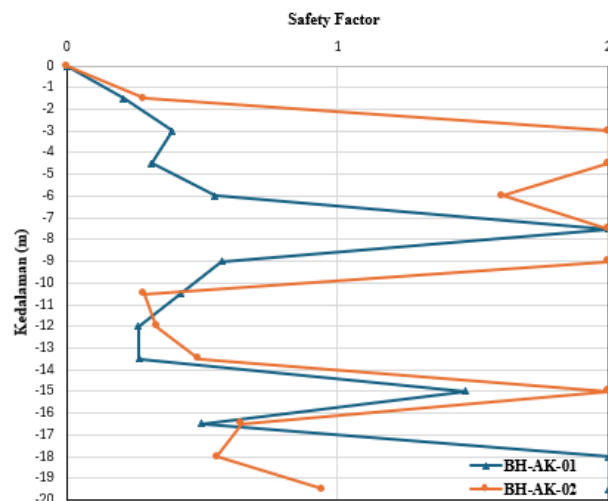
SF merupakan rasio antara CRR dan CSR, digunakan untuk menentukan apakah suatu kedalaman tanah aman dari potensi likuefaksi. Nilai $SF < 1$ menunjukkan bahwa tanah berpotensi likuefaksi, sedangkan nilai $SF > 1$ menandakan tanah aman dari potensi likuefaksi. Berdasarkan hasil perhitungan CSR, CRR dan SF yang sudah dilakukan, maka didapatkan grafik seperti pada Gambar 5.7, Gambar 5.8 dan Gambar 5.9.



Gambar 5.7 Grafik Nilai CSR dan CRR pada Titik BH-AK-01



Gambar 5.8 Grafik Nilai CSR dan CRR pada Titik BH-AK-02

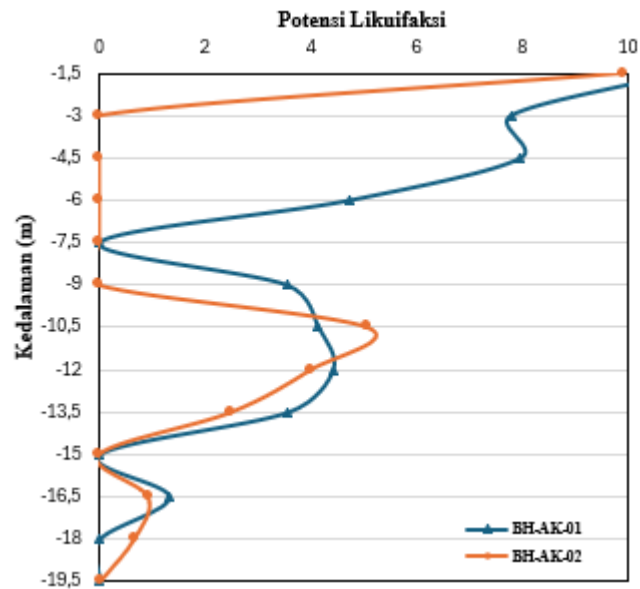


Gambar 5.9 Grafik Nilai Safety Factor pada Titik BH-AK-01 dan BH-AK-02

Apabila nilai $CRR > 2$ dan $SF > 2$ maka pada grafik diatas diasumsikan nilai keduanya adalah 2, karena jika kedua nilai tersebut lebih dari 2, kondisi tersebut sudah tergolong aman.

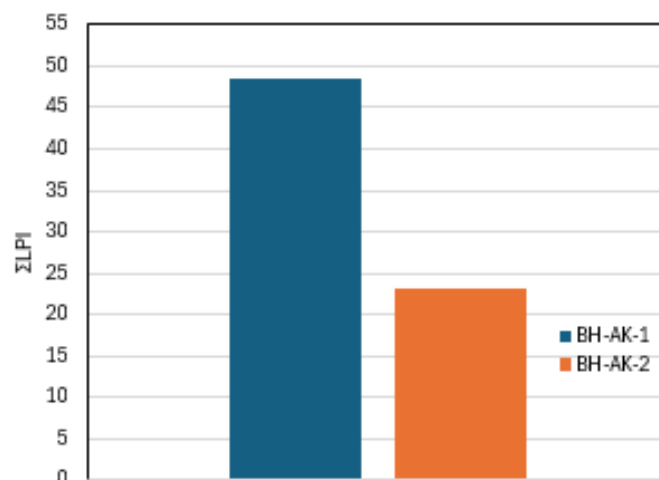
Berdasarkan Gambar 5.9 terlihat bahwa adanya berbagai variasi potensi terjadinya likuefaksi pada titik kedua titik. Titik BH-AK-01 pada kedalaman 18 m dan 19,5 m berada dalam kondisi relatif aman terhadap potensi likuefaksi. Sedangkan pada kedalaman lainnya perlu diwaspadai akan terjadinya likuefaksi. Hal ini menunjukkan bahwa tanah yang tidak dapat menahan likuefaksi, memiliki

kemampuan dalam menahan tegangan siklik akibat gempa (CRR) relatif lebih kecil dibanding beban siklik yang diterimanya (CSR). Sedangkan pada Titik BH-AK-02 pada kedalaman 3 m – 9 m, 15 m, dan 19,5 m relatif aman terhadap potensi likuefaksi, sedangkan pada kedalaman lain rentan terhadap potensi likuefaksi.



Gambar 5.10 Grafik Nilai LPI pada Titik BH-AK-01 dan Titik BH-AK-02

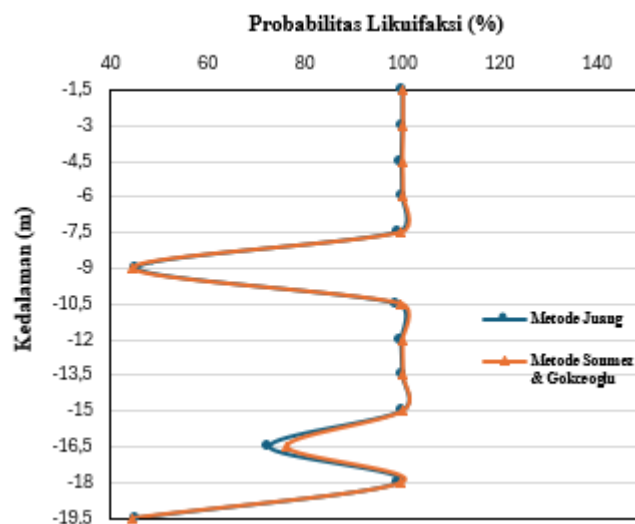
Pada Gambar 5.10 terlihat distribusi nilai LPI terhadap kedalaman tanah pada dua titik bor, yaitu BH-AK-01 dan BH-AK-02. Berdasarkan gambar, kedua titik sama-sama memiliki nilai LPI yang bervariasi.



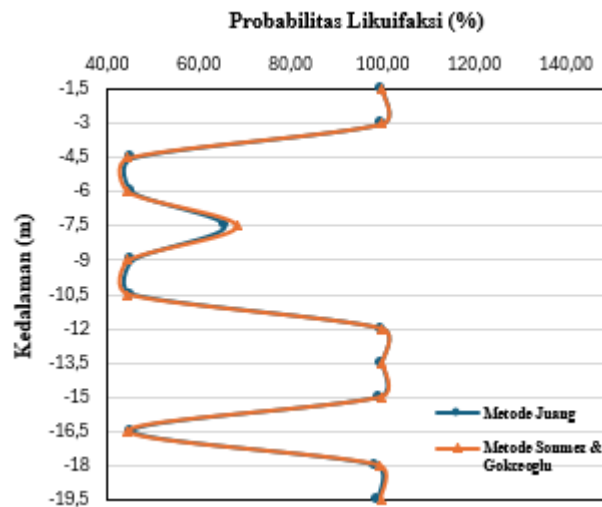
Gambar 5.11 Barchart ΣLPI Pada Titik BH-AK-01 dan BH-AK-02

Berdasarkan Gambar 5.11 dan perhitungan pada Tabel 5.14 diperoleh nilai ΣLPI titik BH-AK-01 sebesar 48,485 dan ΣLPI 23,132. Dimana secara keseluruhan tanah pada titik BH-AK-01 mengalami potensi likuefaksi sedang dan BH-AK-02 rendah sesuai dengan klasifikasi likuefaksi pada Tabel 3.8.

Selain analisis LPI, dilakukan juga analisis probabilitas likuefaksi untuk menilai kemungkinan terjadinya likuefaksi dalam bentuk presentase. Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan pada titik BH-AK-01 diperoleh potensi likuefaksi tertinggi pada titik BH-AK-01 terdapat di kedalaman 1,50 m dengan nilai LPI 10,972 dengan tingkat potensi likuefaksi sebesar 99,98 % berdasarkan Metode Juang dkk (2008) dan 100% Metode Sonmez dan Gokceoglu (2005). Sedangkan, potensi likuefaksi tertinggi pada titik BH-AK-02 terdapat di kedalaman 1,50 m dengan nilai LPI 9,921 dengan tingkat potensi likuefaksi sebesar 99,93% berdasarkan Metode Juang dkk (2008) dan Metode Sonmez dan Gokceoglu (2005) sebesar 100%. Untuk memperjelas analisis maka digunakan Gambar 5.12 dan Gambar 5.13.



Gambar 5.12 Hasil Grafik Probabilitas Likuefaksi Titik BH-AK-01



Gambar 5.13 Hasil Grafik Probabilitas Likuefaksi Titik BH-AK-02

Berdasarkan Gambar 5.10 pada Titik BH-AK-01, seluruh kedalaman menunjukkan tingkat probabilitas likuefaksi yang sangat tinggi, dengan probabilitas diatas 90%, walaupun ada pada kedalaman 18 m dan 19,5 m tidak mencapai 90% pada Metode Juang (2008), serta nilai probabilitas 100% pada beberapa kedalaman dengan Metode Sonmez dan Gokceoglu (2005). Sementara itu, pada Gambar 5.11 Titik BH-AK-02, nilai probabilitas likuefaksi tetap tinggi namun terdapat beberapa variasi yang lebih signifikan pada Metode Juang dkk (2008) dan Metode Sonmez dan Gokceoglu (2005) dengan PL turun hingga 45,390 % mengindikasikan risiko likuefaksi yang lebih rendah di beberapa kedalaman.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, beberapa lapisan tanah pada kedalaman tertentu menunjukkan potensi likuefaksi meskipun didominasi oleh jenis tanah lanau. Hal ini ditunjukkan oleh nilai SF yang kurang dari 1 serta nilai LPI yang mengindikasikan tingkat kerentanan sedang hingga tinggi. Nilai SF dan LPI ini mendukung kesimpulan bahwa lokasi studi yang berada di daerah dengan tanah lunak dan kondisi tanah yang jenuh air, memiliki kondisi geoteknik yang rawan terhadap likuefaksi. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian-penelitian yang menyatakan bahwa tanah lanau dapat mengalami likuefaksi apabila tanah tersebut memiliki indeks plastistas rendah dan kekuatan geser rendah, meskipun umumnya likuefaksti terjadi pada tanah pasir. Salah satu penelitian yang dilakukan oleh

Hidayah dkk (2023) di Kecamatan Kampung Melayu, Bengkulu, juga mendukung bahwa lapisan alluvium yang mengandung lempung, pasir dan lanau berair, dengan muka air tanah yang dangkal (1-25 meter), sangat berpotensi mengalami likuefaksi saat terkena beban dinamis seperti gempa. Selain itu studi oleh Sari dan Bintang (2022) di wilayah Belawan, Medan menunjukkan bahwa tanah lanau jenuh air di lokasi tersebut memiliki nilai $SF < 1$, menandakan tingginya risiko likuefaksi, terlebih lagi karena muka air tanah yang dangkal dan struktur tanah yang tidak padat. Dengan demikian, tanah lanau mengalami likuefaksi apabila memiliki faktor-faktor tersebut, selain itu didukung dengan lokasi penelitian berada pada wilayah yang didominasi oleh tanah hasil endapan vulkanik Gunung Merapi.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari rumusan masalah yang terdapat pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Analisis distribusi ukuran butir tanah menggunakan Kurva Tsuchida menunjukkan bahwa tanah pada titik bor BH-AK-01 dan BH-AK-02 memiliki beberapa lapisan yang masuk dalam zona *most liquefiable*. Ini berarti tanah pada kedalaman tertentu sangat rentan terhadap likuefaksi, khususnya pada lapisan dengan kedalaman 1,00-1,50 m, 5,50 m–6,00 m, dan 11,50 m–12,00 m.
2. Analisis nilai CSR, CRR dan SF menunjukkan bahwa pada kedalaman tertentu, nilai $SF < 1$, menunjukkan bahwa tanah berpotensi mengalami likuefaksi, dan nilai CSR cenderung sedikit meningkat seiring dengan kedalaman dan bervariasi tergantung pada karakteristik tanah di lokasi tersebut.
3. Nilai ΣLPI untuk titik BH-AK-01 sebesar 48,485 dan ΣLPI titik BH-AK-02 sebesar 23,132. Dimana secara keseluruhan tanah pada titik BH-AK-02 mengalami potensi likuefaksi tinggi dan BH-AK-01 sangat tinggi.
4. Berdasarkan analisis probabilitas likuefaksi, kedua titik memiliki nilai probabilitas likuefaksi yang sangat tinggi. Namun, apabila dibandingkan antar kedua titik, Titik BH-AK-01 memiliki risiko likuefaksi yang lebih tinggi dibandingkan Titik BH-AK-02.

6.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari hasil penulisan Tugas Akhir ini sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan analisis menggunakan beberapa titik bor dan kedalaman titik, sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih menyeluruh terhadap potensi likuefaksi di sepanjang Proyek Pembangunan Jalan Tol Jogja-Bawen

2. Perlu dilakukan analisis dengan berbagai nilai magnitudo gempa, agar dapat memberikan potensi terjadinya likuefaksi yang lebih terperinci,
3. Perlu dilakukan perhitungan dengan metode-metode lain dengan kemungkinan *error* yang lebih kecil,
4. Perlu dilakukan analisis menggunakan *software* agar memberikan hasil analisis yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansori, A.L. & Artati, H.K., 2022. Analisis potensi likuefaksi akibat gempa bumi berdasarkan data *in-situ* test menggunakan metode probabilitas. *PROKONS: Jurnal Teknik Sipil*, 16(1), pp.28–35. <https://www.researchgate.net/publication/361262161> ASTM D2487-11. *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. ASTM International.
- ASTM International, 2018. *Standard test methods for particle-size distribution (gradation) of soils using sieve analysis*, ASTM D422 / D422M - 63(2018). West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Bowles, J.E., 1989. *Physical and Geotechnical Properties of Soil*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill.
- Craig, R.F., 2004. *Craig's Soil Mechanics*. 7th ed. London: Spon Press.
- Das, B.M., 1995. *Principles of Geotechnical Engineering*. 4th ed. Boston: PWS Publishing Company.
- Das, B.M., 2010. *Principles of Geotechnical Engineering*. 7th ed. Stamford: Cengage Learning.
- Day, R.W., 2002. *Geotechnical Earthquake Engineering Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Diana, N.A., Soemitro, R.A.A., Ekaputri, J.J. & Satria, T.R., 2022. Evaluasi risiko Likuefaksi berdasarkan karakteristik ukuran butir tanah dan hasil tahanan Standard Penetration Test (N-SPT): Studi kasus Bandara Yogyakarta International Airport. *Proteksi: Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil*, 6(1), pp.51–58. <https://doi.org/10.26740/proteksi.v6n1.p51-58>
- Fahsa, F., 2022. *Analisis Potensi Likuefaksi Berdasarkan Data Pengujian N-SPT*. Tugas Akhir (tidak diterbitkan). Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Hasbi, Y., 2021. *Analisis Potensi Likuefaksi Berdasarkan Data SPT dan CPT*. Tugas Akhir (tidak diterbitkan). Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., *Mekanika Tanah I*. 3rd ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyanto, A. & Widyaningrum, R., 2022. Soil classification using USCS Method, CPTu and DMT interpretations. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/figure/Soil-classification-using-USCS-method-CPTu-and-DMT-interpretations-soil-composition-and_fig4_361881925

- Hidayah, N., Rezi, R., Yuliyanto, B. & Jabar, H., 2023. Identifikasi potensi Likuefaksi menggunakan metode geolistrik konfigurasi VES di Kecamatan Kampung Melayu, Kota Bengkulu. *Jurnal Akademika Kimia*, 12(2), pp.86–92. <https://jurnal.usk.ac.id/JAcPS/article/view/37089>
- Ibrahim, M., Simanjuntak, A.V.H. & Olymphina, O., 2017. Perbandingan energi gempa bumi utama dan susulan (Studi Kasus: Gempa Subduksi Pulau Sumatera dan Jawa). *Jurnal Fisika FLUX*, 14(1), pp.19–26. <https://jurnal.ugm.ac.id/jf/article/view/32643>
- Iwasaki, T., Tokida, K. & Tatsuoka, F., 1981. Soil liquefaction potential evaluation with use of the simplified procedure. In: *Proc. 1st Int. Conf. on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*. pp.209–214.
- Idriss, I.M. & Boulanger, R.W., 2008. *Soil Liquefaction During Earthquakes*. Oakland: Earthquake Engineering Research Institute.
- Juang, C.H., Jiang, T. & Andrus, R.D., 2008. Simplified CPT-based evaluation of liquefaction potential for post-earthquake reconnaissance. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 134(7), pp.1051–1060.
- Kramer, S.L., 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Madani, N.A., 2023. *Pengaruh Percepatan Maksimum Gempa dari Batuan Dasar ke Permukaan terhadap Potensi Likuefaksi di Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia*. Tugas Akhir (tidak diterbitkan). Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Perlea, M., Kramer, S.L. & Sideris, M.G., 1999. *Analysis of Liquefaction-Induced Deformations*. Washington D.C.: U.S. Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center.
- Prakash, S., 1981. *Soil Dynamics*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Prayitno, D.P. & Artati, H.K., 2021. Analisis potensi Likuefaksi berdasarkan distribusi ukuran butir tanah dan data Cone Penetration Test (CPT). *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 27(2), pp.242–249.
- Sari, N. & Bintang, A., 2022. Analisis potensi Likuefaksi tanah lanau di wilayah Belawan dengan metode N-SPT dan evaluasi stabilitas. *Jurnal Bina Konstruksi dan Infrastruktur*, 1(1), pp.13–19. Available at: <https://jbkd.ft.unand.ac.id/index.php/jbkd/article/view/35>
- Shiddiqie, F.A.A., 2022. *Analisis Potensi Likuefaksi Menggunakan Metode Seed dkk (1985), Cetin dkk (2004), dan Hyperbolic Function (2012) Berdasarkan Data N-SPT Akibat Pengaruh Variasi Magnitudo Gempa*. Tugas Akhir (tidak diterbitkan). Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

- Standar Nasional Indonesia (SNI), 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. SNI 1726. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Subwo, W.S., 2011. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Towhata, I., 2008. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Berlin: Springer.
- Widodo, S., 2012. *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Youd, T.L. & Garris, C.T., 1995. Liquefaction-induced ground surface disruption. *Journal of Geotechnical Engineering*, 121(11), pp.805–809. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1955\)121:11\(805\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1955)121:11(805))

LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Uji Laboratorium

		LABORATORIUM MEKANIKA TANAH TUNAS LIMA WARNA SUMMARY TEST RESULT					
PROJECT : Jalan Tol LOCATION : Site Tol Yogyakarta - Bawen							
Bore Hole		BH - AK 1 Stone Coloum - UDS 1	BH - AK 1 Stone Coloum - UDS 2	BH - AK 1 Stone Coloum - UDS 3	BH - AK 1 Stone Coloum - UDS 4	BH - AK 1 Stone Coloum - DS 1	
DEPTH (m)		1.00 - 1.50	5.50 - 6.00	11.50 - 12.00	16.00 - 16.50	19.00 - 19.50	
SAMPLE STATUS		UDS	UDS	UDS	UDS	DS	
INDEX PROPERTIES	VOLUME WEIGHT						
	Spesific Gravity (Gs)	g/cm ³	2,809	2,620	2,787	2,585	2,595
	Natural Water Content (w)	%	48,103	56,484	46,946	30,387	61,954
	Bulk Density (g m)	t/m ³	1,765	1,538	1,748	1,885	1,604
	Dry Density (g d)	t/m ³	1,192	0,983	1,190	1,445	0,991
	Void Ratio	(e)	1,357	1,666	1,343	0,788	1,619
	Porosity	(n)	0,576	0,625	0,573	0,441	0,618
	Degree of Saturation (Sr)	%	99,57	88,83	97,44	99,64	99,26
	ATTERBERG LIMITS						
	Liquid Limits (LL)	%	49,63	67,43	47,16	34,14	69,71
	Plastic Limits (PL)	%	30,60	41,44	28,44	24,07	51,73
	Plasticity Index (PI)	%	19,04	25,99	18,72	10,07	17,98
	HIDROMETER ANALYSIS						
Gravel	%	0,57	0,57	5,05	5,54	0,06	
Sand	%	13,24	15,99	36,25	44,14	29,53	
Silt	%	71,87	67,35	52,16	44,54	63,69	
Clay	%	14,32	16,10	6,54	5,78	6,71	
Class USCS		ML	MH	ML	ML	MH	
ENGINEERING PROPERTIES	TRIAXIAL (UU TEST)						
	Cohesion (c)	kg/cm ²	0,275	0,154	0,034	0,177	0,416
	Friction Angle (ϕ)	° (deg)	9,198	2,588	0,231	0,793	2,152
	CONSOLIDATION TEST						
	Coefficient of Consolidation (Cv)	cm ² /s	0,072	0,058	0,062	0,068	0,063
	Compression Index (Cc)		0,069	0,297	0,208	0,129	0,233
	UNCONFINED COMPRESSION TEST						
	Undisturbed Compressive Strengh (Quu)	kg/cm ²	0,848	0,411	0,225	0,187	1,335
	Sensitivity (ST)		2,846	2,319	1,996	1,566	2,118
	DIRECT SHEAR TEST						
	Cohesion (c)	kg/cm ²	-	-	-	-	-
	Friction Angle (ϕ)	° (deg)	-	-	-	-	-

Tangerang, Oktober 2022
 Penanggung Jawab


Ramhang Subaryadi, ST.
 Direktur PT Tunas Lima Warna

Gambar L-1.1 Hasil Uji Laboratorium Tanah Titik BH-AK-01

		LABORATORIUM MEKANIKA TANAH TUNAS LIMA WARNA SUMMARY TEST RESULT					
PROJECT : Jalan Tol LOCATION : Site Tol Yogyakarta - Bawen							
Bore Hole		BH - AK 2 Stone Coloum - UDS 1	BH - AK 2 Stone Coloum - DS 1	BH - AK 2 Stone Coloum - UDS 2	BH - AK 2 Stone Coloum - DS 2	BH - AK 2 Stone Coloum - DS 3	
DEPTH (m)		1.00 - 1.50	5.50 - 6.00	11.50 - 12.00	16.00 - 16.50	19.00 - 19.50	
SAMPLE STATUS		UDS	DS	UDS	DS	DS	
INDEX PROPERTIES	VOLUME WEIGHT						
	Specific Gravity (Gs)	g/cm ³	2,420	2,591	2,682	2,612	2,553
	Natural Water Content (w)	%	59,109	68,604	50,402	29,286	28,901
	Bulk Density (g m)	t/m ³	1,518	1,564	1,705	1,557	1,536
	Dry Density (g d)	t/m ³	0,954	0,928	1,133	1,205	1,192
	Void Ratio	(e)	1,537	1,792	1,366	1,168	1,142
	Porosity	(n)	0,606	0,642	0,577	0,539	0,533
	Degree of Saturation (Sr)	%	93,11	99,18	98,94	65,48	64,62
	ATTERBERG LIMITS						
	Liquid Limits (LL)	%	60,11	70,88	51,09		
	Plastic Limits (PL)	%	32,16	46,41	42,25	Non Plastis	Non Plastis
	Plasticity Index (PI)	%	27,95	24,47	8,84		
	HIDROMETER ANALYSIS						
	Gravel	%	0,89	0,00	3,78	0,00	0,00
	Sand	%	13,43	12,20	37,50	96,94	97,98
	Silt	%	70,46	79,27	54,76	1,74	1,26
	Clay	%	15,22	8,53	3,96	1,32	0,76
	Class USCS		MH	MH	MH	SP	SP
ENGINEERING PROPERTIES	TRIAXIAL (UU TEST)						
	Cohesion (c)	kg/cm ²	0,071	0,203	0,203	-	-
	Friction Angle (f)	φ (deg)	4,742	3,417	1,516	-	-
	CONSOLIDATION TEST						
	Coefficient of Consolidation (Cv)	cm ² /s	0,064	0,054	0,051	-	-
	Compression Index (Cc)		0,169	0,336	0,592	-	-
	UNCONFINED COMPRESSION TEST						
	Undisturbed Compressive Strength (Quu)	kg/cm ²	0,309	0,297	0,109	-	-
	Sensitivity (ST)		1,076	1,200	1,818	-	-
	DIRECT SHEAR TEST						
	Cohesion (c)	kg/cm ²	-	-	-	2,527	3,082
	Friction Angle (f)	φ (deg)	-	-	-	6,413	11,026

Tangerang, Oktober 2022
Penanggung Jawab

Bambang Suharyadi, ST.
Direktur PT Tunas Lima Warna

Gambar L-1.2 Hasil Uji Laboratorium Tanah Titik BH-AK-02

Lampiran 2 Tabel Rekapitulasi Hasil Analisis

Tabel L-2.1 Rekapitulasi Hasil Analisis Titik BH-AK-01

Kedalaman	w (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Sr (%)	Viod Ratio (e)	Porositas (n)	Sudut Geser Dalam (°)	Kohesi (kg/cm ²)	Ket
1,00-1,50	48,103	49,63	30,60	19,04	99,57	1,357	0,576	9,198	0,275	Terjadi Potensi Likuefaksi
5,50-6,00	56,484	67,43	41,44	25,99	88,83	1,666	0,625	2,588	0,154	Terjadi Potensi Likuefaksi
11,50-12,00	46,946	47,16	28,44	18,72	97,44	1,343	0,573	0,231	0,034	Terjadi Potensi Likuefaksi
16,00-16,50	30,887	34,14	24,07	10,07	99,64	0,788	0,441	0,793	0,177	Terjadi Potensi Likuefaksi
19,00-19,50	61,954	69,71	51,73	17,98	99,26	1,619	0,618	2,152	0,416	Aman

Tabel L-2.2 Rekapitulasi Hasil Analisis Titik BH-AK-02

Kedalaman	w (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Sr (%)	Viod Ratio (e)	Porositas (n)	Sudut Geser Dalam (°)	Kohesi (kg/cm ²)	Ket
1,00-1,50	59,109	60,11	32,16	27,95	59,109	1,537	0,606	4,742	0,071	Terjadi Potensi Likuefaksi
5,50-6,00	68,604	70,88	46,41	24,47	68,604	1,792	0,642	3,417	0,203	Aman
11,50-12,00	50,402	51,09	42,25	8,84	50,402	1,366	0,577	1,516	0,203	Terjadi Potensi Likuefaksi
16,00-16,50	29,286	-	-	-	29,286	1,168	0,539	-	-	Aman
19,00-19,50	28,901	-	-	-	28,901	1,142	0,533	-	-	Aman