

TUGAS AKHIR
ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI
DENGAN DATA CPT DAN SPT
STUDI KASUS : TANAH YOGYAKARTA

Diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Pendidikan
Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas
Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang



Disusun Oleh :

FAQIH KHALIN HIDAYATULLAH

30. 2018. 000.69

IFNU ARIFULLOOHH HASANI

30. 2018. 000.85

FAKULTAS TEKNIK PROGRAM
STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
2022



**YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Raya Kaligawe KM. 4 Po. BOX 1054 Telp. (024) 6583584 Ext. 507 Semarang 50112

**LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI
DENGAN DATA CPT DAN SPT
STUDI KASUS : TANAH YOGYAKARTA**

Oleh:



FAQIH KHALIN HIDAYATULLAH

30. 2018. 000.69



IFNU ARIFULLOOH HASANI

30. 2018. 000.85

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 2022

Tim Penguji

1. Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT
2. Selvia Agustina, ST, M.Eng
2. Lisa Fitriyana, ST, M.Eng

Tanda Tangan

.....
.....
.....

Universitas Islam Sultan Agung

Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Ketua,

Muhammad Rusli Ahyar, ST., M. Eng



**YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Raya Kaligawe KM. 4 Po. BOX 1054 Telp. (024) 6583584 Ext. 507 Semarang 50112

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No :

Pada hari ini tanggal berdasarkan surat keputusan rector Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) perihal penunjukan dosen pembimbing dan asisten dosen pembimbing :

1. Nama : Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing I
2. Nama : Selvia Agustina, ST, M.Eng
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing II

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut dibawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir :

NAMA : Faqih Khalin Hidayatullah NAMA : Ifnu Arifullooh Hasani
NIM : 30201800069 NIM : 30201800085
Judul : ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI DENGAN DATA CPT DAN
SPT STUDI KASUS : TANAH YOGYAKARTA

Dengan tahap sebagai berikut :

No.	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1.	Penunjukan Dosen pembimbing	15 September 2021	ACC
2.	Pengumpulan data analisis	28 September 2021	ACC
3.	Penyusunan laporan	27 Oktober 2021	ACC
4.	Selesai laporan	4 Januari 2022	ACC

Pembimbing I



Dr. Ir . Rinda Karlinasari, MT

Pembimbing II



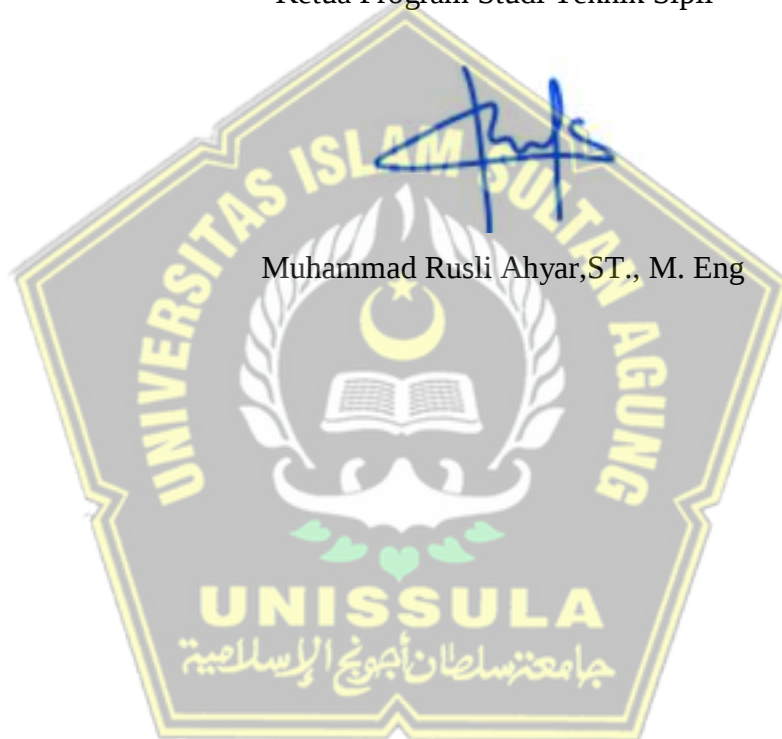
Selvia Agustina, ST, M.Eng

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhammad Rusli Ahyar, ST., M. Eng



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Faqih Khalin Hidayatullah

NIM : 30201800069

NAMA : Ifnu Arifullooh Hasani

NIM : 30201800085

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

**“ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI DENGAN DATA CPT DAN
SPT STUDI KASUS : TANAH YOGYAKARTA”**

Benar bebas dari plagiat, dan bilamana pernyataan ini terbukti benar maka
saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Dengan pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagai
pelengkap tugas akhir

Semarang,

2022

Yang Membuat Pernyataan

Yang Membuat Pernyataan

Faqih Khalin Hidayatullah

Ifnu Arifullooh Hasani

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Faqih Khalin Hidayatullah

NIM : 30201800069

NAMA : Ifnu Arifullooh Hasani

NIM : 30201800085

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

“ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI DENGAN DATA CPT DAN SPT STUDI KASUS : TANAH YOGYAKARTA”

Menyatakan dengan ini sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli kami sendiri. Kami tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka kami bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung.

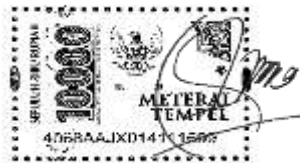
Dengan pernyataan ini saya buat.

Semarang,

2022

Yang Membuat Pernyataan

Yang Membuat Pernyataan



Faqih Khalin Hidayatullah

Ifnu Arifullooh Hasani

MOTTO

**“Janganlah kita menyia-nyiakan waktu, sebelum
waktu yang menyia-nyiakanmu”**

“Demi masa,”(1) “sungguh, manusia berada dalam kerugian,”(2) “kecuali orang-orang yang beriman dan mengerjakan kebajikan serta saling menasihati untuk kebenaran dan saling menasihati untuk kesabaran”.(3)

(Q.S. Al-Asr ayat 1-3)

(FAQIH KHLAIN HIDAYATULLAH)

**“Tidak ada kesuksesan tanpa kerja keras. Tidak ada keberhasilan tanpa
kebersamaan. Tidak ada kemudahan tanpa doa”**

“... dan janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya tiada berputus asa dari rahmat Allah, melainkan kaum yang kafir.”

(Q.S. Yusuf ayat 8)

(IFNU ARIFULLOOH HASANI)



PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya tercinta, Bapak Kharis & Ibu Sri wahyuni yang senantiasa selalu memberikan do'a, kasih sayang, dorongan motivasi, semangat dan dukungan secara moral maupun secara materiil.
2. Adik dan kerabat saya tercinta yang selalu memberikan do'a dan dukungan secara moral maupun secara materiil.
3. Dosen pembimbing Tugas Akhir saya Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT, dan Ibu Selvia Agustina, ST., M.Eng yang telah membimbing kami sepenuh hati untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat dan sangat berguna selama saya menuntut ilmu di Fakultas Teknik UNISSULA.
5. Saudara Ifnu Arifullooh Hasani rekan Tugas Akhir, teman seperjuangan, dan Saudara dalam hal apapun
6. Teman – teman kontrakan : Ifnu,Dimas, Ghani, Faza,fauqi ,ilma Dll, dan seluruh sodara di Grub Baru terimakasih telah mendukung dan membantu selama proses mengerjakan Tugas Akhir ini
7. Teman – teman Teknik Sipil UNISSULA angkatan 2018, dan teman – teman Sipil B.
8. Teman – teman Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil 2018 terkhusus
9. Kelas B dan seluruh Mahasiswa Teknik UNISSULA.
10. Almamater kebangganku Fakultas Teknik UNISSULA.

Faqih Khalin Hidayatullah

30201800085

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

11. Kedua orang tua saya tercinta, Bapak Sayid & Ibu Wasturoh yang senantiasa selalu memberikan do'a, kasih sayang, dorongan motivasi, semangat dan dukungan secara moral maupun secara materiil.
12. Kakak dan adik saya tercinta yang selalu memberikan do'a dan dukungan secara moral maupun secara materiil.
13. Dosen pembimbing Tugas Akhir saya Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT, dan Ibu Selvia Agustina, ST., M.Eng yang telah membimbing kami sepenuh hati untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
14. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat dan sangat berguna selama saya menuntut ilmu di Fakultas Teknik UNISSULA.
15. Saudara Faqih Khalin Hidayatullah rekan Tugas Akhir, teman seperjuangan, dan Saudara dalam hal apapun
16. Teman – teman kontrakan : Dimas, Ghani, Faza,Dll, dan seluruh sodara di Grub Baru terimakasih telah mendukung dan membantu selama proses mengerjakan Tugas Akhir ini
17. Teman – teman Teknik Sipil UNISSULA angkatan 2018, dan teman – teman Sipil B.
18. Kelas B dan seluruh Mahasiswa Teknik UNISSULA.
19. Almamater kebangganku Fakultas Teknik UNISSULA.

Ifnu Arifullooh Hasani
30201800085

KATA PENGANTAR

Asslamualaikum Wr. Wb.

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah – Nya sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI DENGAN DATA CPT DAN SPT STUDI KASUS : TANAH YOGYAKARTA” tersebut bisa terselesaikan dengan baik. Penyelesaian laporan ini dimaksudkan guna menyelesaikan Program Studi Strata 1 (S1) di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Penulis menyadari kelemahan serta kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, dan dalam penyelesaian tugas akhir ini memperoleh dukungan dari beberapa seingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini dengan baik. dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT, Ph. D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M. Eng selaku Ketua Progam Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, yang memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran, dan dorongan semangat.
4. Ibu Selvia Agustina, ST, M.Eng selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, yang memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran, dan dorongan semangat.
5. Bersama pihak pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas Akhir ini sampai dengan laporan selesai.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Walaikumsalam Wr. Wb.

Semarang,

2022

Faqih Khalin Hidayatullah
(30.2018.00.069)

Ifnu Arifullooh Hasani
(30.2018.00.085)



ABSTRAK

Faqih Khalin Hidayatullah, Ifnu Arifullooh Hasani

Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT, Selvia Agustina ,ST .,M.Eng

Likuifaksi yaitu peristiwa dimana berubahnya suatu sifat tanah dari sifat padat (*Solid*) ke sifat cair (*Liquid*), disebabkan oleh adanya beban siklik atau gempa sehingga kemudian terjadinya tegangan efektif menjadi sama dengan nol dan membuat naiknya tekanan air pori melebihi tegangan *vertical*. Analisis potensi likuifaksi ini bertujuan untuk mengetahui kondisi tanah, nilai faktor keamanan (FS) dan mengetahui total *liquefaction potential index* (LPI).

Metode menganalisis potensi likuifaksi yaitu dengan menggunakan nilai faktor keamanan dari hasil perbandingan dari nilai CSR (*Cyclic Stress Ratio*) dengan nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*), CSR, CRR dan SF berbanding dengan kedalaman.

Tanah yang mengindikasikan potensi likuifaksi adalah tanah dengan konsentrasi *densitas loose, very loose, medium dense*, ditemukan pada nilai N_{spt} di bawah N_{spt} 25. Sedangkan dari data CPT untuk jenis tanah *sand, silty dan clay* di mana resistivitas ujung konus kurang dari 130. Rata-rata nilai faktor keamanan yang dihasilkan oleh data CPT dan SPT mengalami likuifaksi pada kedalaman 1-5 m.. Hasil total dari perhitungan nilai LPI pada data CPT dan SPT menghasilkan tingkat keparahan pada kategori *very high* dan *high*.

Kata Kunci:

Likuifaksi, *Cyclic Stress Ratio* (CSR), *Cyclic Resistance Ratio* (CRR), *Factor of Fafety* (FS), *Liquefaction Potential Index* (LPI)

ABSTRACT

Faqih Khalin Hidayatullah, Ifnu Arifullooh Hasani

Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT, Selvia Agustina ,ST .,M.Eng

Liquefaction is an event where the change of a soil characteristic from solid to liquid, is caused by a cyclic load or an earthquake so that the effective stress becomes zero and causes the increase in pore water pressure to exceed the vertical stress. This liquefaction potential analysis aims to determine the soil condition, the value of the safety factor (FS) and determine the total liquefaction potential index (LPI).

The method of analyzing the potential for liquefaction is by using the value of the safety factor from the comparison of the value of CSR (Cyclic Stress Ratio) with the value of CRR (Cyclic Resistance Ratio), CSR, CRR and SF compared to depth.

Soils that indicate the potential for liquefaction are soils with loose, very loose, medium dense concentrations, found at N_{spt} values below N_{spt} 25. Meanwhile, from CPT data for sand, silty and clay soil types, the resistivity of the cone tip is less than 130. The average The average value of the safety factor generated by the CPT and SPT data experienced liquefaction at a depth of 1-5 m.. The total results from the calculation of the LPI value in the CPT and SPT data resulted in the severity level in the very high and high categories.

Key Words:

Liquefaction, *Cyclic Stress Ratio* (CSR), *Cyclic Resistance Ratio* (CRR), *Factor of Safety* (FS), *Liquefaction Potential Index* (LPI)

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	I
LEMBAR PENGESAHAN	II
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	V
MOTTO	VII
PERSEMBAHAN.....	VIII
KATA PENGANTAR.....	X
ABSTRAK	XII
ABSTRAC.....	XIII
DAFTAR ISI.....	XIV
DAFTAR GAMBAR.....	XVII
DAFTAR TABEL.....	XVIII
DAFTAR NOTASI.....	XIX
DAFTAR LAMPIRAN	XX
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penulisan	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Gempa Bumi.....	5

2.2	Landasan Teori Gempa Bumi.....	5
2.2.1	Landasan Teori Lempeng Tektonik.....	5
2.2.2	Besaran Kekuatan Gempa.....	7
2.3	Likuifaksi.....	8
2.3.1	Faktor-faktor yang mempengaruhi Likuifaksi.....	10
2.3.2	Bahaya yang Diakibatkan oleh Likuifaksi.....	10
2.4	Evaluasi Likuifaksi dan Masalah yang Ditimbulkan.....	11
2.5	Tegangan Dalam Tanah.....	13
2.5.1	Tegangan Vertikal Total.....	14
2.5.2	Tegangan Vertikal Efektif.....	15
2.6	Metode Analisa Potensi Likuifaksi.....	15
2.6.1	CPT (<i>Cone Penetration Test</i>).....	17
2.6.2	SPT (<i>Standard Penetration Test</i>).....	18
2.7	<i>Liquefaction Potential Index</i> (LPI).....	22
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		23
3.1	Tinjauan Umum.....	23
3.2	Data Teknis.....	25
3.3.1	Data CPT.....	25
3.3.2	Data SPT.....	28
3.3	Analisis Likuifaksi.....	31
3.3.1	Nilai CSR (<i>Cyclic Stress Ratio</i>).....	31
3.3.2	Nilai CRR (<i>Cyclic Resistance Ratio</i>).....	32
3.3.3	<i>Liquefaction Potential Index</i> (LPI).....	37
3.4	Analisis output.....	38
3.5	Kesimpulan.....	38
3.6	Pembuatan Laporan.....	38

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Pengolahan data CPT	39
4.1.1 Hasil pengolahan data	45
4.2 Pengolahan data SPT	50
4.2.1 Hasil pengolahan data	56
4.3 Perhitungan <i>Liquefaction Potential Index</i>	60
4.3.1 Perhitungan <i>Liquefaction Potential Index</i> CPT	61
4.3.2 Perhitungan <i>Liquefaction Potential Index</i> SPT	69
BAB V PENUTUP	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA.....	73



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tiga Jenis Lempeng (<i>Plate Boundaries</i>).....	7
Gambar 2. 2 Metode Evaluasi Potensi Likuifaksi.....	12
Gambar 2. 3 Interpretasi Tegangan Efektif.....	14
Gambar 2. 4 <i>Magnitude Scale Factor</i>	16
Gambar 2. 5 Tingkat Keparahan LPI	23
Gambar 3. 1 Diagram alir metodologi penelitian.....	24
Gambar 3. 2 Grafik sondir	27
Gambar 3. 3 Soil Investigations di DB sta 00+616 A.....	28
Gambar 3. 4 Tabel bor dalam SPT sta 0+616 A	29
Gambar 3. 5 <i>Soil Investigations</i> di DB sta 00+616 A	30
Gambar 3. 6 Grafik korelasi FC dengan qc dan nilai CRR atau CSR	34
Gambar 3. 7 Diagram alir metoda CPT	35
Gambar 4. 1 Peta Wilayah Gempa Indonesia Menurut SNI 1726:2019	41
Gambar 4. 2 Grafik CSR, CRR dan SF di DB sta 00+616 A	47
Gambar 4. 3 Grafik CSR, CRR dan SF di DB sta 01+116	48
Gambar 4. 4 Grafik CSR, CRR dan SF di DB sta 02+538	49
Gambar 4. 5 Grafik CSR, CRR dan SF di DB sta 00+616 A	57
Gambar 4. 6 Grafik CSR, CRR dan SF di DB sta 01+116	58
Gambar 4. 7 Grafik CSR, CRR dan SF di DB sta 02+538	59
Gambar 4. 8 Grafik <i>Liquefaction Potential Index</i> di DB sta 00+616 A	66
Gambar 4. 9 Grafik <i>Liquefaction Potential Index</i> di DB sta 01+116	67
Gambar 4. 10 Grafik <i>Liquefaction Potential Index</i> di DB sta 01+116	68
Gambar 4. 11 Grafik <i>Liquefaction Potential Index</i> di DB sta 00+616 A	74
Gambar 4. 12 Grafik <i>Liquefaction Potential Index</i> di DB sta 01+116	75
Gambar 4. 13 Grafik <i>Liquefaction Potential Index</i> di DB sta 02+538	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Faktor Koreksi Terhadap SPT.....	19
Tabel 3. 1 Data CPT Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo-Yogyakarta.....	26
Tabel 3. 2 Percepatan Puncak Batuan Dasar dan Percepatan Puncak Muka	32
Tabel 3. 3 Nilai Faktor Koreksi untuk $(N1)_{60}$	36
Tabel 3. 4 Tingkat keparahan LPI.....	38
Table 4. 1 Hasil Perhitungan <i>Safety Factor</i> (SF) di DB sta 00+616 a	43
Table 4. 2 Hasil Perhitungan <i>Safety Factor</i> (SF) di DB sta 01+116.....	45
Table 4. 3 Hasil Perhitungan <i>Safety Factor</i> (SF) di DB sta 02+538.....	45
Table 4. 4 Hasil Perhitungan <i>Safety Factor</i> (SF) di DB sta 00+616 A.....	53
Table 4. 5 Hasil Perhitungan <i>Safety Factor</i> (SF) di DB sta 01+116.....	54
Table 4. 6 Hasil Perhitungan <i>Safety Factor</i> (SF) di DB sta 02+538.....	56
Table 4. 7 Hasil Perhitungan <i>Liquefaction Potential Index</i> di DB sta 00+616 A..	62
Table 4. 8 Hasil Perhitungan <i>Liquefaction Potential Index</i> di DB sta 01+116.....	63
Table 4. 9 Hasil Perhitungan <i>Liquefaction Potential Index</i> di DB sta 02+538.....	64
Table 4. 10 Tingkat keparahan LPI.....	64
Table 4. 11 Hasil Perhitungan <i>Liquefaction Potential Index</i> di DB sta 00+616 A 70	
Table 4. 12 Hasil Perhitungan <i>Liquefaction Potential Index</i> di DB sta 01+116....	71
Table 4. 13 Hasil Perhitungan <i>Liquefaction Potential Index</i> di DB sta 02+538....	72

DAFTAR NOTASI

γ_{sat}	= Berat isi lapisan tanah (kN/m^3)
z	= Kedalaman lapisan tanah (m)
σ'_v	= Tegangan vertikal efektif (kN/m^2)
σ_v	= Tegangan vertikal total (kN/m^2)
μ	= Tegangan air pori (kN/m^2)
γ_w	= Berat isi air (kN/m^3)
a_{max}	= Percepatan maksimum di permukaan tanah
r_d	= Koefisien tegangan reduksi
g	= Percepatan gravitasi
N_m	= N-SPT yang diperoleh dari test lapangan.
C_N	= Faktor normalisasi N_m terhadap tegangan overburden pada umumnya.
C_E	= Koreksi <i>rasio energy hammer</i> (ER)
C_B	= Koreksi untuk diameter lubang bor
C_R	= Faktor koreksi dari panjang batang
C_S	= Koreksi untuk sampel
q_{c1N}	= Nilai q_c terkoreksi (Kg/cm^3)
C_Q	= Faktor normalisasi tahanan ujung konus
P_a	= Tekanan pada 1 atm.

DAFTAR LAMPIRAN

Data Boring Log Tol Solo-Yogyakarta
Data Hasil CPT Tol Solo-Yogyakarta
Data Hasil Lab DS Solo-Yogyakarta.....



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aktivitas Gempa bumi yang terjadi di Indonesia sangatlah tinggi, hal ini bisa dilihat dari Peristiwa bencana alam yang terjadi kebanyakan didominasi gempa bumi. Kerusakan yang disebabkan gempa sangatlah banyak dan dapat mematikan makhluk hidup di bumi ini dan juga beserta bangunannya.

Terjadinya yang memicu likuifaksi salah satunya adalah jenis gempa tektonik, gempa bumi tektonik terjadi karena lempeng-lempeng tektonik saling mendasak dan terjadinya penimbunan energi perlahan kemudian terjadinya pelepasan energi yang telah tersimpan lama tertimbun di bawah lempeng tektonik, sehingga pada setiap lapisan tanah akan mengalami perubahan parameter tanah disaat gempa terjadi.

Likuifaksi yaitu peristiwa dimana berubahnya suatu sifat tanah dari sifat padat (*Solid*) ke sifat cair (*Liquid*), disebabkan oleh adanya beban siklik atau gempa sehingga kemudian terjadinya tegangan efektif menjadi sama dengan nol dan membuat naiknya tekanan air pori melebihi tegangan *vertical*.

Dalam buku yang berjudul analisis praktis potensi likuifaksi (2020) karya Abdul hakam, likuifaksi sering dijumpai pada kejadian gempa bumi dimana terjadi perilaku tanah akibat bawah beban gempa yang terjadi hanya dalam waktu yang singkat, getaran gempa yang merambat dalam deposit tanah dalam waktu yang singkat mengakibatkan massa tanah mengalami transisi dari keadaan (perilaku) padat menjadi keadaan cair (perilaku cairan).

Fenomena likuifaksi akibat gempa bumi di Indonesia yang menimbulkan korban jiwa telah dibuktikan melalui sejarah seperti Aceh pada tanggal 26 Desember 2004, Padang pada tanggal 30 September 2009, dan Donggala (Palu) pada tanggal 28 September 2018.

Potensi likuifaksi pada suatu daerah bisa ditentukan dengan dua uji yaitu tes uji laboratorium dan tes uji lapangan di dapat dari perhitungan faktor keamanan. Dari penelitian kebanyakan tes uji lapangan, tes yang dilaksanakan yaitu tes SPT, CPT, BPT, dan Vs. Berdasarkan pada fenomena likuifaksi yang terjadi, maka ketika mendirikan suatu bangunan dipermukaan tanah penting untuk menganalisa adanya potensi likuifaksi.

Hal tersebut yang melatar belakangi penelitian analisis potensi likuifaksi pada tanah didaerah Yogyakarta. Dari pemikiran tersebut, penelitian ini menyajikan data dan analisis interpretasi data CPT dan SPT di lokasi area jalan tol Solo Yogyakarta untuk mengetahui potensi likuifaksi pada saat terjadi gempa bumi meningkat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian tentang potensi likuifaksi di jalan tol Solo-Yogyakarta di atas maka bisa dirumuskan beberapa masalah berikut ini :

1. Bagaimana kondisi tanah serta lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo-Yogyakarta memiliki potensi terhadap bahaya Likuifaksi?
2. Bagaimana hasil nilai faktor keamanan terhadap Likuifaksi ditiap lapisan tanah di Jalan tol Solo – Yogyakarta?
3. Bagaimana analisa potensi Likuifaksi yang terjadi di jalan tol Solo-Yogyakarta yang didapat dari perhitungan total *liquefaction potential index*?

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah perlu dilakukan Untuk dapat memperoleh fokus penelitian ini. Maka, adapun beberapa Batasan masalah dalam penelitian sebagai berikut:

1. Metode yang digunakan pada perhitungan analisis potensi likuifaksi yaitu menggunakan data *Standart Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT) dimana untuk mencari *liquefaction potential Index*(LPI)
2. Potensi likuifaksi hanya ditinjau pada 3 STA dan di lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo-Yogyakarta.

3. Data penyelidikan tanah didapatkan dari pihak konsultan.

1.4 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dari penulisan analisis potensi Likui-faksi ini sebagai berikut :

1. Menganalisis kondisi tanah serta lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo-Yogyakarta memiliki potensi terhadap bahaya Likui-faksi.
2. Menganalisis nilai faktor keamanan terhadap Likui-faksi di tiap lapisan tanah di Jalan tol Solo - Yogyakarta, dengan membandingkan hasil analisis data yang diperoleh dari pengolahan data CPT dan SPT terhadap potensi likui-faksi
3. Menganalisis potensi Likui-faksi yang terjadi di jalan tol Solo-Yogyakarta yang didapat dari perhitungan total *liquefaction potential index*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun Manfaat yang diperoleh pada penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengetahui potensi likui-faksi apabila terjadi gempa bumi dan adanya bahaya yang bisa terjadi pada area yang ditinjau.
2. Sebagai tambahan dan referensi dalam mempelajari likui-faksi dan menambah informasi untuk praktisi maupun akademisi.
3. Mencermati adanya perbedaan yang ada pada metode analisis likui-faksi dari data *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT) pada lokasi proyek jalan tolo Solo – Yogyakarta.

1.6 Sistematika Penulisan

Metode penulisan dalam seminar ini dibagi dalam beberapa bab yaitu :

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi pendahuluan yang memuat latar belakang permasalahan, ruang lingkup penulisan, tujuan penulisan, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan landasan teori tentang tanah, hal – hal yang berhubungan

dengan gempa, peristiwa likuifaksi, dan tentang metode yang akan digunakan.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menguraikan beberapa metode yang berhubungan dengan alur penelitian untuk memperoleh tujuan yang ingin dicapai berdasarkan penelitian yang telah ditetapkan.

BAB 4 PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi hasil analisis yang telah dihitung dari beberapa metode-metode yang digunakan sebagai upaya untuk menganalisis potensi likuifaksi pada area yang ditinjau.

BAB 5 PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil analisis yang telah diperoleh.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan suatu gerakan tiba-tiba yang berasal dari tanah serta bersifat acak (*transient*) yang dari suatu daerah terbatas dan menyebar dari titik tertentu serta menyebar ke aneka macam arah. Gempa bumi merupakan guncangan serta getaran pada bagian atas bumi yang ditimbulkan berasal pelepasan energy dari dalam secara tiba-tiba yang menjadi akibatnya penyebabnya gelombang seismic, benturan antar lempeng-lempeng bumi, tanah longsor ataupun dampak dari patahan aktif yang berasal dari aktifitas gunung api.

Banyaknya kejadian gempa diberbagai wilayah Indonesia berpotensi menyebabkan terjadinya peristiwa peleburan tanah atau biasa disebut dengan likuifaksi, fenomena likuifaksi adalah peristiwa kekuatan lapisan pasir lepas (*loose sand*) dampak kenaikan tekanan air pori karena menerima getaran gempa bumi (Tohari dkk, 2015).

Pada saat kejadian gempa bumi, getaran atau guncangan yang merambat pada massa tanah merupakan dari beban siklik yang dapat menyebabkan butir-butir pasir yang lepas cenderung berubah posisi sehingga mengakibatkan penurunan volume.

Hal ini mengakibatkan terjadinya peningkatan air pori-pori disekitar daerah butiran-butiran pasir sehingga kekuatan geser butiran atau kuat geser efektif pasir menurun.

2.2 Landasan Teori Gempa Bumi

2.2.1 Landasan Teori Lempeng Tektonik

Landasan teori lempeng tektonik yang diperkenalkan pada tahun 1960-an merupakan ladasan yang menjelaskan bagaimana bumi itu terjadi. Menurut landasan materi lempeng tektonik, permukaan bumi berasal dari lempeng-lempeng tektonik yang berbeda-beda, atau dikenal dengan lempeng *lithosphere*, dengan masing-masing plat mempunyai kerak atau lapisan dan bagian yang lebih kaku di mantel terluar.

Lempeng-lempeng ini aktif bergerak dan menyebabkan pelepasan energy dari dampak tekanan yang didapatkan dari pergerakan lempeng-lempeng. Tekanan tersebut kian membesar serta mencapai keadaan dimana tekanan tersebut tidak dapat ditahan oleh pinggiran lempeng, disaat itulah gempa bumi terjadi. Gempa bumi sering terjadi diantara perbatasan-perbatasan lempeng bumi.

Batas lempeng bumi (*plate boundaries*) bisa dibedakan dengan tiga jenis berdasarkan pada cara lempengan tersebut bergerak relative satu dengan lainnya. Tiga jenis batas lempeng tadi adalah :

a. Batas Divergen (*Divergent Boundaries*)

Di batas Divergen terjadi saat dua lempeng bergerak saling berpisan satu dengan lainnya. Magma panas yang keluar ke permukaan akibat dari pergerakan dua lempeng ini menyebabkan proses pendinginan dan menghasilkan punggung-punggung bukit. Gempa bumi yang terjadi dampak pembentukan punggung bukit ini hanya terjadi pada sekitar puncak bukit di saat kerak baru terbentuk. Gempa ini cukup kecil serta terjadi di kedalaman yang dangkal.

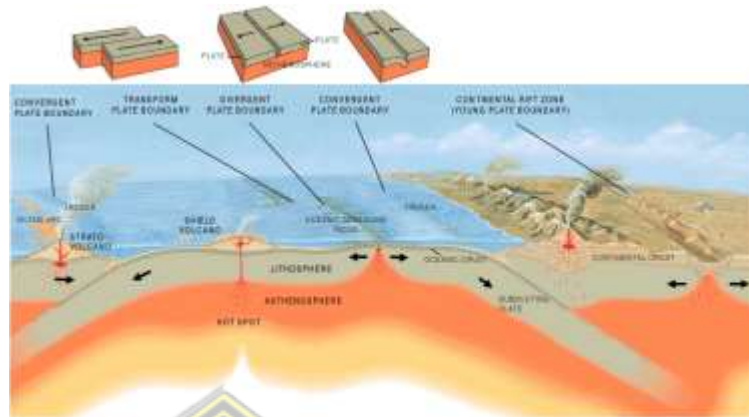
b. Batas Konvergen (*Convergent boundaries*)

Berbeda dengan Batas Divergen, Batas Konvergen ini terjadi pada saat dua lempeng bergerak bergesekan saling mendekati satu dengan yang lain sebagai akibatnya menghasilkan zona subduksi (*subduction zone*) saat salah satu lempeng bergerak dibawah lempeng lainnya.

c. Batas Transform (*Transform boundaries*)

Batas Transform atau sering disebut dengan patahan (*Fault*) Terjadi pada ketika lempeng bergerak serta mengalami gesekan satu sama lain tanpa mengakibatkan dampak konstruktif ataupun destruktif di lapisan bumi mirip dengan yang terjadi di Batas *Divergen* serta Batas *Konvergen*. Ketika pergerakan relative kedua lempeng sejajar satu dengan yang lainnya, zona patahan *strike-slip* (*strike-slip fault zone*)

terbentuk di batas transform. Deskripsi patahan bisa dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Tiga Jenis Lempeng (*Plate Boundaries*)

Sumber : Wikipedia

Sebagian besar gempa bumi disebabkan oleh efek pelepasan energi yang dihasilkan dari efek pergeseran patahan yang tiba-tiba. Namun, ini tidak berarti bahwa gerakan tanah yang disebabkan oleh patahan menyebabkan gempa bumi.

2.2.2 Besaran Kekuatan Gempa

Ada dua cara dasar pada mengukur kekuatan gempa, sesuai dengan intensitas kerusakan yang diakibatkannya (*earthquake intensity*) serta sesuai magnitude gempa (*earthquake magnitude*). Magnitudo gempa tidak bergantung pada kepadatan populasi daerah maupun jenis konstruksi bangunan yang terdapat di wilayah tadi, sedangkan intensitas mengukur bahaya kerusakan yang diakibatkan oleh gempa pada bangunan serta reaksi orang-orang disuatu daerah.

➤ *Earthquake Intensity*

Skala intensitas gempa pertama dikemukakan oleh de Rossi berasal dari Italy dan Forel berasal dari Swiss di tahun 1880 lalu dikembangkan lagi dan diperbaiki oleh Mercalli di tahun 1931. Menurut versi yang lainnya yaitu dari H.O.Wood dan

Frank Neumann. Di negara Jepang sendiri mengeluarkan skala intensitas gempanya sendiri.

➤ *Earthquake magnitude*

Untuk membandingkan besaran gempa ini, diperlukan suatu metode perhitungan yang tidak bergantung pada intensitas gempa, kepadatan penduduk, atau jenis bangunan, tetapi langsung pada skala gempa yang dapat diterapkan pada daerah yang tidak berpenghuni. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan kuantifikasi gempa berkekuatan yang pertama kali diusulkan oleh Wadati dari Jepang pada tahun 1931.

2.3 Likuifaksi

Likuifaksi adalah hilangnya kekuatan pada tanah yang diakibatkan oleh peningkatan tekanan air pori dan penurunan pada tekanan efektif dari lapisan tanah yang ditimbulkan akibat beban siklik. Akibat struktur tanah pasir (*cohensionless*) menerima tegangan geser yang berturut-turut sehingga struktur tanah berpasir memadat, tetapi karena peristiwa siklik ini terjadi pada waktu yang sangat cepat maka proses pemadatan tidak terjadi dan tegangan air pori semakin tinggi. (Idris, I & Boulanger, 2008).

Likuifaksi biasanya terjadi di tanah jenuh air, di mana seluruh rongga tanah penuh dengan air. Saat mengalami getaran, air tersebut memberi tekanan pada partikel tanah sehingga mempengaruhi kerapatan yang terutama berdasarkan pada tanah. Sebelum gempa bumi terjadi, tekanan air di tanah mampu sangat rendah. Namun, ketika sesudah menerima getaran, tekanan air di tanah akan tumbuh, sebagai akibatnya dapat mengalir ke tanah tanpa masalah. Selesaiannya digerakkan oleh air, partikel-partikel tanah tidak lagi mempunyai daya atau daya aus, sebagai akibatnya daya aus tanah tadi mutlak dari tekanan air pori. Di keadaan ini tanah yang tadinya berbentuk cair yang sekarang sudah tidak stabil, sehingga beban-beban di permukaan bersama-sama dengan massa-massa pada bentuk bangunan akan tenggelam ke dalam lantai. Di sisi lain, puing-puing di dalam tanah akan mengikuti hari ini dan tampak dipermukaan tanah.

Pada kejadian likuifaksi yang sudah-sudah bahwa likuifaksi lebih sering terjadi deposit tanah granular (berbutir) yang halus dan lepas pada keadaan jenuh. Tanah berbutir yang halus ini mempunyai sifat yang buruk dalam drainase/mengalirkan air di dalam tanah. Deposit tanah yang sangat biasanya mengalami terjadinya likuifaksi pada saat kejadian gempa adalah pasir halus, pasir berlanau, pasir berlumpur, dan pasir biasa.

Fenomena yang berkaitan dengan peristiwa likuifaksi merupakan *flow liquefaction* dan *cyclic mobility*. Masing-masing sangat penting buat diingat dalam mengevaluasi risiko likuifaksi. *flow liquefaction* merupakan peristiwa pada mana sirkulasi tanah terjadi. Ini terjadi saat tegangan geser tidak aktif yang dipakai untuk mendapatkan keseimbangan pada massa tanah khusus jauh lebih besar yang berasal pada tegangan geser tanah yang dicairkan (*liquefied*). Dengan istilah lain, deformasi yang terjadi merupakan hasil akhir pada tekanan geser statis (*static shear stress*). Pada peristiwa *flow liquefaction* ini, ada ciri yang bisa dicermati yaitu pada kecepatan peredaran yang sangat massif serta perpindahan lapisan tanah.

Cyclic mobility itu sendiri ialah fenomena lain yang juga dapat mengakibatkan deformasi permanen yang ekstensif karena guncangan gempa. Pada evaluasi likuifaksi aliran, pada *cyclic mobility* situasinya merupakan bahwa tekanan geser tidak aktif lebih kecil dari tegangan geser tanah yang dicairkan (*liquefied*). Pada fenomena tersebut, deformasi yang terjadi merupakan akibat asal massa siklik dan tegangan geser statis (*static shear stress*). Di model seperti ini, deformasi yang terjadi merupakan deformasi lateral (*lateral spread*)

Di Indonesia itu sendiri ada beberapa contoh peristiwa yang terjadi akibat peristiwa likuifaksi sendiri, yaitu dengan adanya kerusakan-kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi di Bengkulu di tahun 2000 dan 2007, gempa bumi di Aceh tahun 2004, gempa bumi di Nias tahun 2005, gempa bumi di Yogyakarta tahun 2006, gempa bumi di Padang tahun 2009 dan yang terbaru gempa bumi di Donggala (Palu) tahun 2018.

2.3.1 Faktor-faktor yang mempengaruhi Likuifaksi

Untuk bisa mengetahui terjadinya likuifaksi diperlukan pengenalan kondisi yang masih ada dalam tanah sebelum terjadinya gempa. Tanah terdiri berdasarkan partikel-partikel yang menyusunnya. Bila dipandang menggunakan seksama maka akan terlihat bahwa setiap partikel berafiliasi dengan partikel lainnya. Sebab adanya gaya berat berdasarkan partikel tanah, maka terdapatlah gaya diantara partikel. Gaya inilah yang membentuk setiap partikel tanah bisa berada tetap pada posisinya.

Likuifaksi terjadi ketika tegangan berlebih merusak bentuk tanah jenuh dan merusak struktur sehingga tidak berhenti. Partikel penyusun tanah bergerak dan biasanya cenderung membentuk komposisi yang lebih keras. Saat terjadi gempa, air yang ada di dalam pori-pori tanah berpasir tidak sempat lagi untuk mengapung, dan terperangkap akibatnya partikel-partikel pada tanah tidak bisa mengalir serta merapat membuat konfigurasi yang lebih padat. Dengan adanya beban gempa, tekanan air di dalam tanah dapat menjadi lebih tinggi sehingga mengurangi gaya-gaya antar partikel tanah sehingga daya listrik tanah berkurang. Dalam kasus yang ekstrim, regangan air pori menjadi sangat berlebihan sehingga puing-puing tanah kehilangan kontak dengan yang lain. Jika hal ini terjadi maka tanah akan kehilangan kekuatannya dan bertindak mirip cairan, oleh sebab itu peristiwa tadi disebut sebagai likuifaksi.

2.3.2 Bahaya yang Diakibatkan oleh Likuifaksi

Likuifaksi paling mudah terjadi di tanah jenuh, sehingga efeknya paling sering ditentukan di daerah dekat perairan seperti sungai, danau, dan laut. Dampak likuifaksi bisa berupa longsoran besar atau retakan tanah yang sejajar dengan badan air termasuk peristiwa yang terjadi di Montagua River, Guatemala (1976)

Ketika likuifaksi terjadi, tenaga tanah berkurang serta kemampuan tanah guna membantu tenaga diatasnya juga akan berkurang. Pencairan juga bisa mengakibatkan tekanan luar biasa di dinding penahan yang

dapat mengakibatkan dinding penahan miring atau bergeser. Timbulnya regangan air pori juga akan memicu penyebabnya terjadinya longsor (*land slide*).

Selain tembok penahan tanah, jembatan yang membawa air sering rusak akibat likuifaksi. Pergerakan tanah selama likuifaksi dapat mendorong pondasi jembatan keluar, kehilangan arah ke jembatan atau menyebabkan dasar jembatan melengkung. Jenis kerusakan ini memiliki efek dominan dalam merancang sistem pada tanah berpasir yang dekat dengan air. Sebagai hasil akhir jangka panjang, dari rute, mungkin ada kerugian materi yang besar dalam hal kegagalan struktur dibawah tanah karena likuifaksi

2.4 Evaluasi Likuifaksi dan Masalah yang Ditimbulkan

Potensi terjadinya likuifaksi pada suatu deposit tanah akan dipengaruhi oleh kombinasi dari beberapa komponen, diantaranya :

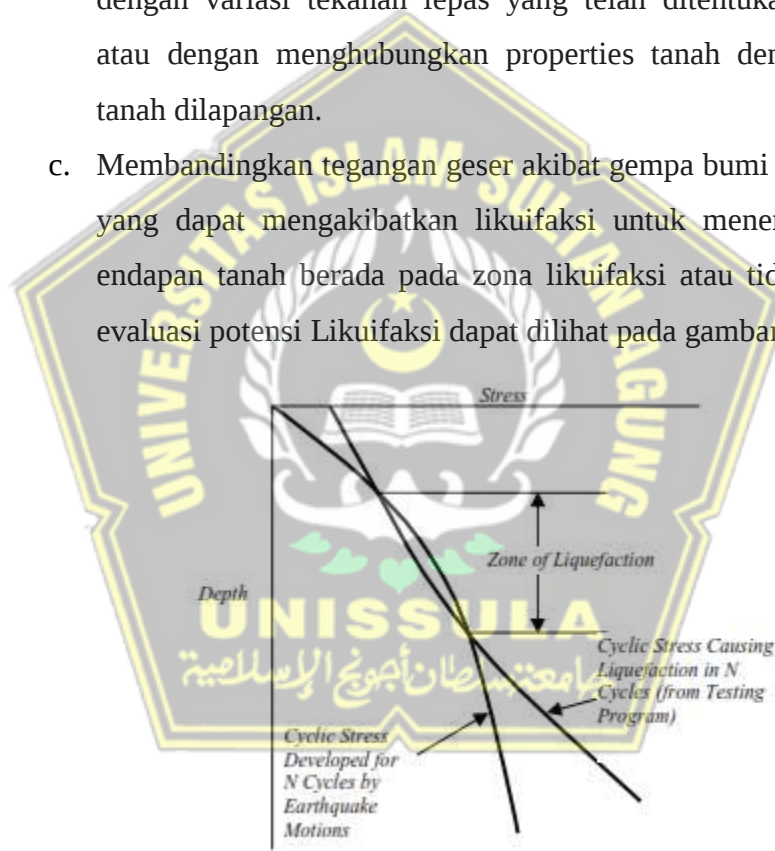
- a. Indeks properties tanah, seperti gradasi butiran, karakteristik kelembaban, berat volume, modulus dinamis, kepadatan relatif dan struktur tanah itu sendiri
- b. Faktor lingkungan, seperti jenis tanah, catatan seismic dan geologi, ketinggian muka air tanah, dan regangan efektif tanah
- c. Karakteristik gempa, seperti intensitas getaran pada tanah dan lama getaran tanah itu terjadi

Dari beberapa elemen yang disebutkan di atas, tidak semua elemen ini mungkin diputuskan tanpa langsung, namun efek yang muncul dari ketiga elemen tersebut dapat digunakan dalam proses evaluasi potensi likuifaksi, yaitu dengan cara melakukan uji beban siklik pada pola tanah tidak terganggu atau dapat melalui pengukuran karakteristik pencairan tanah menggunakan beberapa prosedur sesuai yang ada dilapangan. Pada dasarnya, prosedur standar evaluasi potensi likuifaksi, diantaranya :

- a. Memilih nilai tegangan siklik yang timbul sebab gerakan tanah selama gempa bumi, di setiap kedalaman deposit tanah dan mengubah bentuk tegangan yang tidak beraturan agar memiliki nilai yang sama di dalam bentuk regangan siklik. Dengan kata lain,

intensitas getaran, durasi getaran, dan variasi getaran yang terjadi sebagai akibat dari regangan pada setiap kedalaman diubah menjadi besaran yang dapat diukur. Penentuan akan pentingnya tekanan siklik yang terjadi dapat dicapai dengan mempelajari respon tanah terhadap tegangan yang berhubungan dengan berat sendiri tanah, modulus karakteristik dinamika dan kelembaban.

- b. Menentukan kuantitas tekanan siklik dengan menggunakan pemeriksaan pembebanan di dalam laboratorium yang direpresentasikan melalui sampel tak terganggu yang dilengkapi dengan variasi tekanan lepas yang telah ditentukan sebelumnya atau dengan menghubungkan properties tanah dengan sifat-sifat tanah dilapangan.
- c. Membandingkan tegangan geser akibat gempa bumi dengan hal-hal yang dapat mengakibatkan likuifaksi untuk menentukan apakah endapan tanah berada pada zona likuifaksi atau tidak, penjelasan evaluasi potensi Likuifaksi dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Metode Evaluasi Potensi Likuifaksi

Sumber : Jurnal Rekayasa Sipil Volume 5 No.1 Febuari 2009

Seperti yang sudah dijelaskan, perilaku likuifaksi tanah sangat merusak dan berdampak sangat negatif terhadap stabilitas tanah dan bangunan di atasnya. Efek dari perilaku likuifaksi adalah sebagai berikut:

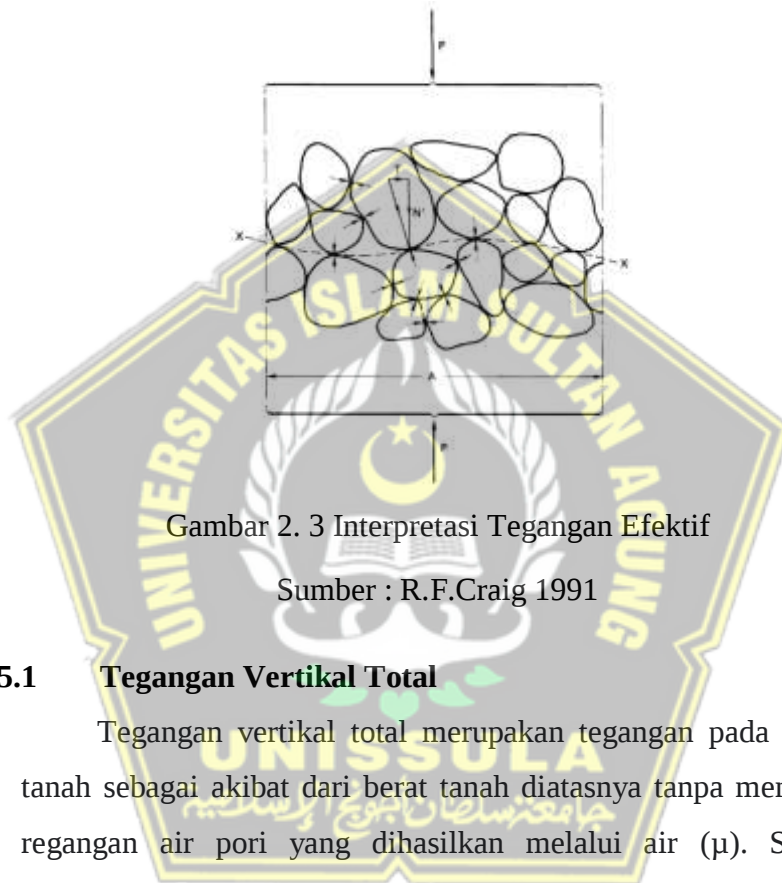
1. Terjadinya turunnya tanah sampai 5% dari ketebalan tanah yang terlikuifaksi
2. Terjadinya kehilangan daya dukung pada tanah
3. Terjadinya kehilangan daya dukung lateral pada tanah
4. Terjadinya daya apung struktur yang terkubur dalam tanah, seperti tanki yang berada di dalam tanah
5. Meningkatnya tekanan lateral pada tanah yang dapat mengakibatkan kegagalan struktur penahan tekanan lateral pada tanah
6. Terjadinya *lateral spreading (limited lateral movements)*
7. Terjadinya *lateral flow (extensive lateral movements)*

2.5 Tegangan Dalam Tanah

Besarnya dampak gaya-gaya yang menjalar menurut partikel ke partikel lainnya dalam kerangka tanah telah diketahui menurut tahun 1923, waktu terzaghi mengemukakan prinsip tegangan efektif yang berdasarkan dalam data dampak percobaan. Untuk rentang tegangan yang biasa dijumpai pada praktek, masing-masing partikel padat dan air dianggap non kompresibel, dilain pihak udara bersifat sangat kompresibel. Tanah bisa divisualisasikan sebagai suatu kerangka partikel padat tanah (*solid skeleton*) yang dibatasi oleh pori-pori dimana pori-pori tadi mengandung air atau udara. Volume kerangka tanah secara keseluruhan sanggup berubah dampak menurut penyusunan balik partikel-partikel padat dalam posisinya yang baru. Terutama memakai cara menggelincir yang menyebabkan terjadinya perubahan gaya-gaya yg bekerja diantara partikel-partikel tanah. Kompresibilitas kerangka tanah yg sesungguhnya tergantung pada susunan struktural partikel tersebut.

Prinsip tersebut dapat diwakilkan oleh contoh fisis yang sudah dijelaskan pada buku mekanika tanah R.F.Craig edisi keempat. Tinjaulah sebuah 'bidang' x-x pada suatu tanah jenuh sempurna yang melewati titik-titik singgung antar partikel, contohnya pada gambar berikut. Bidang x-x yg bergelombang tersebut, pada skala besar, sama menggunakan bentuk bidang yang sebenarnya Lantaran ukuran partikel tanah relative kecil. Sebuah gaya normal P yg bekerja pada bidang A sebagian ditahan oleh gaya-gaya antar

partikel serta sebagian ditahan oleh tekanan pada air pori. Gaya-gaya antar partikel seluruh tanah, baik besar maupun arahnya, sangat tak beraturan (acak), namun dalam tiap titik singgung menggunakan bidang yang bergelombang bisa diuraikan menjadi komponen-komponen gaya yang arahnya tangensial terhadap bidang x-x yg sebenarnya. Komponen normal dinamakan menggunakan N' sedangkan komponen tangensial menggunakan T , penjabaran diatas dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Interpretasi Tegangan Efektif

Sumber : R.F.Craig 1991

2.5.1 Tegangan Vertikal Total

Tegangan vertikal total merupakan tegangan pada dalam lapisan tanah sebagai akibat dari berat tanah diatasnya tanpa memperhitungkan regangan air pori yang dihasilkan melalui air (μ). Semakin sama intensitas tanah, semakin besar regangan vertikal keseluruhan.

Tegangan vertikal total dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.1)

$$\sigma_v = (z - 0) \gamma_{sat} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

σ_v : Tegangan vertikal total (kN/m^2)

γ_{sat} : Berat isi lapisan tanah (kN/m^3)

z : Kedalaman lapisan tanah (m)

2.5.2 Tegangan Vertikal Efektif

Tegangan vertikal efektif merupakan tekanan di lapisan tanah yang diperoleh dari beban tanah di atasnya dengan memperhitungkan regangan air pori dampak air (μ). Regangan air pori tekanan yang berasal dari tanah akibatnya berkurang.

Tegangan vertikal efektif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.2)

$$\sigma'_v = \sigma_v - \mu \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

σ'_v : Tegangan vertikal efektif (kN/m^2)

σ_v : Tegangan vertikal total (kN/m^2)

μ : Tegangan air pori (kN/m^2)

$$\mu = \gamma_w \cdot z \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

μ : Tegangan air pori (kN/m^2)

γ_w : Berat isi air (kN/m^3)

z : Kedalaman lapisan tanah (m)

2.6 Metode Analisa Potensi Likuifaksi

Dalam menganalisis potensi likuifaksi bisa digunakan dengan 2 cara yaitu menggunakan tes uji laboratorium serta melalui perhitungan pendekatan dari data tes uji lapangan. Dalam tugas akhir ini penulis akan menggunakan hasil uji lapangan yaitu dengan menggunakan data CPT (*Cone Penetration Test*) dan data SPT (*Standard Penetration Test*) bertujuan untuk mendapatkan hasil nilai potensi likuifaksi. Pada dasarnya untuk menganalisis potensi likuifaksi yaitu dengan menggunakan dua parameter yaitu dengan CSR (*Cyclic Stress Ratio*) yang artinya yaitu ratio dari tegangan tanah akibat dari beban siklik dan CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) yang artinya yaitu ratio ketahanan terhadap beban siklik atau ketahanan dalam menahan terjadinya likuifaksi.

Metode menganalisis potensi likuifaksi yaitu dengan menggunakan nilai faktor keamanan dari hasil perbandingan dari nilai CSR (*Cyclic Stress Ratio*)

dengan nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*), dimana CSR (*Cyclic Stress Ratio*) adalah ratio tegangan siklik yang disebabkan oleh beban seismic (gempa) dan sementara CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) itu sendiri adalah kapasitas tahanan tanah dari tegangan siklik yang bisa memicu terjadi likuifaksi.

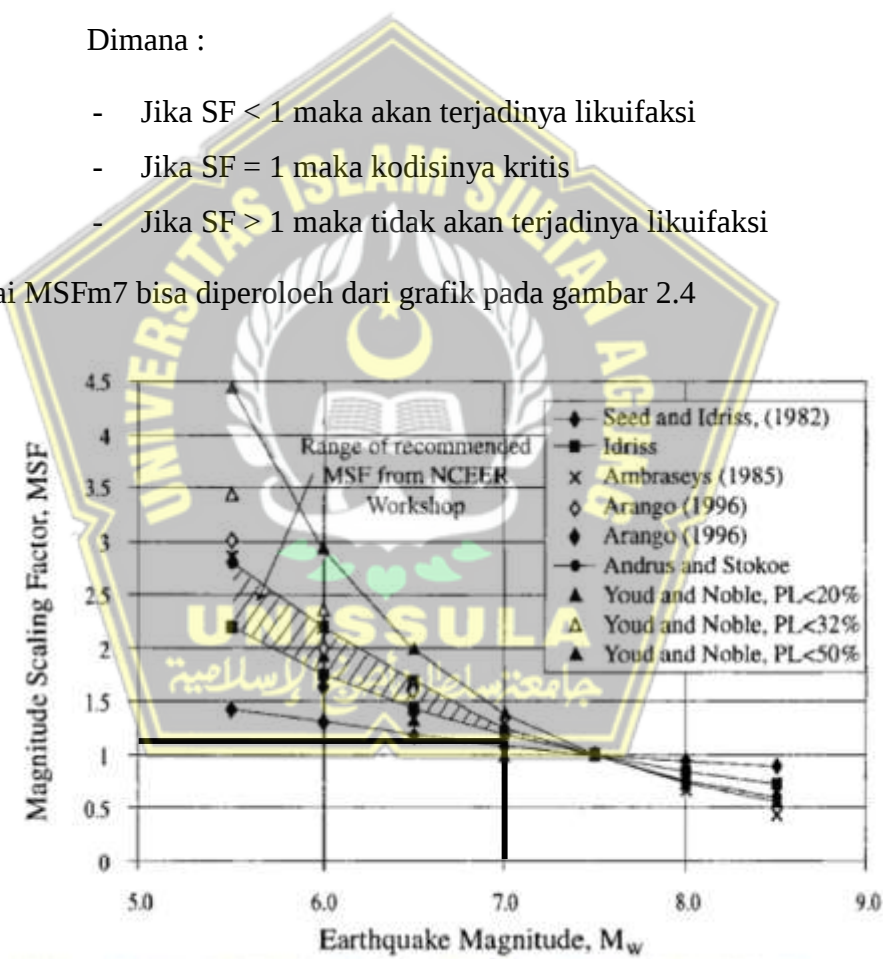
Faktor Keamanan (SF) yang tidak diperbolehkan adalah kurang dari 1 (satu) maka tanah akan terjadinya likuifaksi. Dimana dapat dinyatakan dengan persamaan (2.4)

$$SF = CRR \cdot \left(\frac{MSF}{CSR} \right) \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

- Jika $SF < 1$ maka akan terjadinya likuifaksi
- Jika $SF = 1$ maka kondisinya kritis
- Jika $SF > 1$ maka tidak akan terjadinya likuifaksi

Nilai MSFm7 bisa diperoleh dari grafik pada gambar 2.4



Gambar 2.4 *Magnitude Scale Factor*

Sumber : Seed and Idriss

2.6.1 CPT (*Cone Penetration Test*)

Pada CPT (*Cone Penetration Test*), data yang dijadikan acuan yaitu tahanan ujung konus (q_c). Berikut merupakan langkah-langkah untuk mengetahui nilai CSR (*Cyclic Stress Resistance*) dan CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) dari data CPT (*Cone Penetration Test*):

2.6.1.1 CSR (*Cyclic Stress Resistance*)

CSR (*Cyclic Stress Ratio*) adalah tegangan geser siklik yang terjadi dari dampak gempa dibagi menggunakan tegangan efektif lain,

Nilai CSR bisa dihitung menggunakan persamaan (2.5)

$$CSR = 0,65 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) \cdot r_d \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

CSR : *Cyclic Stress Ratio* (tidak berdimensi)

a_{max} : Percepatan maksimum di permukaan tanah

g : Percepatan gravitasi

σ_v : Tegangan vertikal total

σ'_v : Tegangan vertikal efektif

r_d : Koefisien tegangan reduksi

Dimana r_d adalah nilai factor reduksi tahanan pada suatu tegangan yang dirumuskan mengestimasi besarnya koefisien reduksi besaran CSR

Menurut Liao dan Whitman, 1968 formulasi yang digunakan untuk mengestimasi koefisien reduksi tegangan adalah :

$$\text{Untuk } z \leq 9,5 \text{ m } R_d = 1,0 - 0,00765z \dots \dots \dots (2.6)$$

$$\text{Untuk } 9,15 \leq z \leq 23 \text{ m } R_d = 1,174 - 0,0267z \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

r_d : Koefisien tegangan reduksi

z : Kedalaman lapisan tanah (m)

Berbeda dengan Liao dan Whitman, menurut TF Blake, 1996 formulasi yang digunakan untuk mengestimasi koefisien reduksi tegangan adalah :

$$rd = \frac{1,0 - 0,4113 z^{1,5} + 0,04052 z + 0,001753 z^{1,5}}{1,0 - 0,4177 z^{0,5} + 0,05729 z - 0,0066205 z^{1,5} + 0,00121 z^2} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

rd : Koefisien tegangan reduksi

z : Kedalaman lapisan tanah (m)

2.6.1.2 CRR (*Cyclic Ratio Resistance*)

Nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) merupakan nilai ketahanan suatu lapisan tanah terhadap tegangan siklis.

Berdasarkan pada metode NCEER (*National Center of Earthquake Engineering Research*) 1996, Robertson dan Wride (1996) mengusulkan persamaan berikut dalam menentukan nilai CRR :

$$\text{Jika } (q_{c1N}) < 50 \quad CRR = 0,833 [(q_{c1N})/1000] + 0,05 \dots\dots (2.9)$$

$$\text{Jika } 50 \leq (q_{c1N}) \leq 160 \quad CRR = 93 [(q_{c1N})/1000]^3 + 0,08 \dots\dots (2.10)$$

Dimana :

q_{c1N} : Nilai qc terkoreksi (Kg/cm^3)

CRR : *Cyclic Resistance Ratio*

2.6.2 SPT (*Standard Penetration Test*)

Menentukan nilai $(N1)_{60}$.

Youd dan Idriss (2001) dan Cetin dll (2004) memberikan koreksi-koreksi untuk mendapatkan nilai $(N1)_{60}$:

$$(N1)_{60} = N_m C_N C_E C_B C_R C_S \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

N_m = N-SPT yang diperoleh dari test lapangan.

C_N = faktor normalisasi N_m terhadap tegangan overburden pada umumnya.

CE = koreksi rasio energy *hammer* (ER)

CB = koreksi untuk diameter lubang bor

CR = faktor koreksi dari panjang batang

CS = koreksi untuk sampel

Karena terdapat adanya peningkatan nilai N-SPT dengan meningkatnya tegangan overburden efektif, faktor koreksi tegangan overburden harus digunakan (Seed dan Idriss, 1982). Faktor ini umumnya dihitung dari persamaan (2.12)

$$C_N = 2,2 / (1,2 + (\frac{\sigma'_{vo}}{p_a})) \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana nilai CN tidak boleh melebihi dari 1,7.

Faktor koreksi (normalisasi) nilai *Standard Penetration Test* (SPT) yang dapat ditentukan melalui tabel berikut:

Tabel 1 Koreksi-koreksi yang digunakan dalam uji SPT (Youd, T.L. & Idriss, I.M., 2001)			
Faktor	Jenis Alat	Parameter	Koreksi
Tegangan vertikal efektif		C_N	$2,2 / (1,2 + (\sigma'_{vo}/Pa))$
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

Tabel 2. 1 Faktor Koreksi Terhadap SPT

Sumber : Youd dan Idriss, 2001

Menentukan Nilai $(N1)_{60cs}$

Menentukan *Fines Content* (FC) lalu hitung nilai $(N1)_{60cs}$ yang dipengaruhi oleh nilai *Fines Content* itu sendiri (Youd dan Idriss, 2001) (2.13)

$$(N1)_{60cs} = \alpha + \beta \cdot (N1)_{60} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana nilai-nilai α dan β dipengaruhi oleh persentase *fines content* (FC):

$$\alpha = 0, \beta = 1, \quad FC \leq 5\% \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\alpha = \exp [1,76 - (190/FC^2)] \quad 5\% < FC < 35\% \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\beta = [0,99 - (FC^{1,5}/1000)] \quad 5\% < FC < 35\% \dots\dots\dots (2.16)$$

$$\alpha = 5, \beta = 1,2 \quad FC \geq 35\% \dots\dots\dots (2.17)$$

2.6.2.1 CSR (Cyclic Stress Ratio)

CSR (*Cyclic Stress Ratio*) adalah tegangan geser siklik yang terjadi dampak gempa dibagi menggunakan tegangan efektif lain, Nilai CSR bisa dihitung menggunakan rumus persamaan (2.18)

$$CSR = 0,65 \cdot \left(\frac{amax}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) \cdot rd \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

CSR : *Cyclic Stress Ratio* (tidak berdimensi)

amax : Percepatan maksimum di permukaan tanah

g : Percepatan gravitasi

σ_v : Tegangan vertikal total

σ'_v : Tegangan vertical efektif

rd : koefisien tegangan reduksi

Dimana rd adalah nilai factor reduksiahanaan pada suatu tegangan yang dirumuskan mengestimasi besarnya koefisien reduksi besaran CSR

Menurut Liao dan Whitman, 1968 formulasi yang digunakan untuk mengestimasi koefisien reduksi tegangan adalah :

$$\text{Untuk } z \leq 9,5 \text{ m } R_d = 1,0 - 0,00765z \dots\dots\dots (2.19)$$

$$\text{Untuk } 9,15 \leq z \leq 23 \text{ m } R_d = 1,174 - 0,0267z \dots\dots\dots (2.20)$$

Berbeda dengan Liao dan Whitman, menurut TF Blake, 1996 formulasi yang digunakan untuk mengestimasi koefisien reduksi tegangan adalah :

$$r_d = \frac{1,0 - 0,4113 z^{1,5} + 0,04052 z + 0,001753 z^{1,5}}{1,0 - 0,4177 z^{0,5} + 0,05729 z - 0,0066205 z^{1,5} + 0,00121 z^2} \dots\dots\dots (2.21)$$

2.6.2.2 CRR (Cyclic Resistance Ratio)

Menentukan nilai CRR pada besaran skala gempa (M_w) 7.5 dan pasir murni dengan $(N1)_{60cs} < 37,5$ (Youd, T. L. dan Idriss, 2001):

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N1)_{60cs}} + \frac{(N1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N1)_{60cs} + 45]^2} - \frac{1}{200} \dots\dots\dots (2.22)$$

Jika $(N1)_{60cs} > 37,5$ maka tanah tersebut tidak perlu dievaluasi karena nilai yang rentan akan likuifaksi ialah ketika $(N1)_{60cs} < 37,5$. Jika $(N1)_{60cs} > 37,5$ maka tanah tersebut kuat menahan beban seismic yang dapat diwakilkan dengan nilai $CRR_{7,5} = 2$.

Sedangkan menurut I.M. Idriss dan R.W. Boulanger di tahun 2008 telah memodifikasi nilai dari beberapa parameter yaitu dengan $(N1)_{60cs}$, $\Delta(N1)_{60}$, dan $CRR_{7,5}$ yang dirangkum pada persamaan di bawah ini.

$$(N1)_{60cs} = (N1)_{60} + \Delta(N1)_{60} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$\Delta(N1)_{60} = \exp \left(1.63 + \frac{97}{FC + 0,01} - \left(\frac{15,7}{FC + 0,01} \right)^2 \right) \dots\dots\dots (2.24)$$

$$CRR_{7,5} = \exp \left(\frac{(N1)_{60cs}}{14,1} + \left(\frac{(N1)_{60cs}}{126} \right)^2 - \left(\frac{(N1)_{60cs}}{23,6} \right)^3 + \left(\frac{(N1)_{60cs}}{25,4} \right)^4 \right) - 28 \dots\dots\dots (2.25)$$

2.7 Liquefaction Potential Index (LPI)

Liquefaction potential index (LPI) merupakan parameter tunggal untuk mengevaluasi potensi likuifaksi regional. LPI di sebuah situs dihitung dengan mengintegrasikan faktor keamanan (FS) bersama kolom tanah hingga kedalaman 20 m. Fungsi pembobotan adalah ditambahkan untuk memberi bobot lebih pada lapisan yang lebih dekat ke tanah permukaan. *Liquefaction potential index* (LPI) yang diusulkan oleh Iwasaki dkk. (1978, 1982) diungkapkan di persamaan (2.26)

$$LPI = \int_0^{20} F(z) \cdot w(z) dz \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana z adalah kedalaman titik tengah lapisan tanah (0 hingga 20 m) dan dz adalah selisih kenaikan kedalaman. faktor bobot w(z), dan faktor keparahan F(z), dihitung sebagai persamaan berikut :

$$F(z) = 1 - SF \text{ untuk } SF < 1,0 \dots\dots\dots (2.27)$$

$$F(z) = 0 \text{ untuk } SF > 1,0 \dots\dots\dots (2.28)$$

$$w(z) = 10 - 0,5(z) \text{ untuk } z < 20 \text{ meter} \dots\dots\dots (2.29)$$

$$w(z) = 0 \text{ untuk } z > 20 \text{ meter} \dots\dots\dots (2.30)$$

Untuk profil tanah dengan kedalaman kurang dari 20 m, LPI adalah dihitung menggunakan persamaan berikut (Luna dan Frost 1998):

$$LPI = \sum_{i=1}^n w_i \cdot F_i \cdot H_i \dots\dots\dots (2.31)$$

Dengan :

$$F_i = 1 - SF_i \text{ untuk } SF_i < 1,0 \dots\dots\dots (2.32)$$

$$F_i = 0 \text{ untuk } SF_i > 1,0 \dots\dots\dots (2.33)$$

Dimana H adalah ketebalan lapisan tanah yang didiskritisasi, n adalah angka lapisan, F_i adalah keparahan likuifaksi untuk lapisan ke-i, FS adalah faktor keamanan untuk lapisan ke-i, w adalah faktor bobot $(10 - 0,5 z_i)$ dan z_i adalah kedalaman lapisan ke-i (m).

LPI	Iwasaki et al. (1982)	Luna and Frost (1998)	MERM (2003)
$LPI = 0$	Very low	Little to none	None
$0 < LPI < 5$	Low	Minor	Low
$5 < LPI < 15$	High	Moderate	Medium
$15 < LPI$	Very high	Major	High

Gambar 2. 5 Tingkat Keparahahan LPI

Sumber : Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 2759–2768, 2012



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

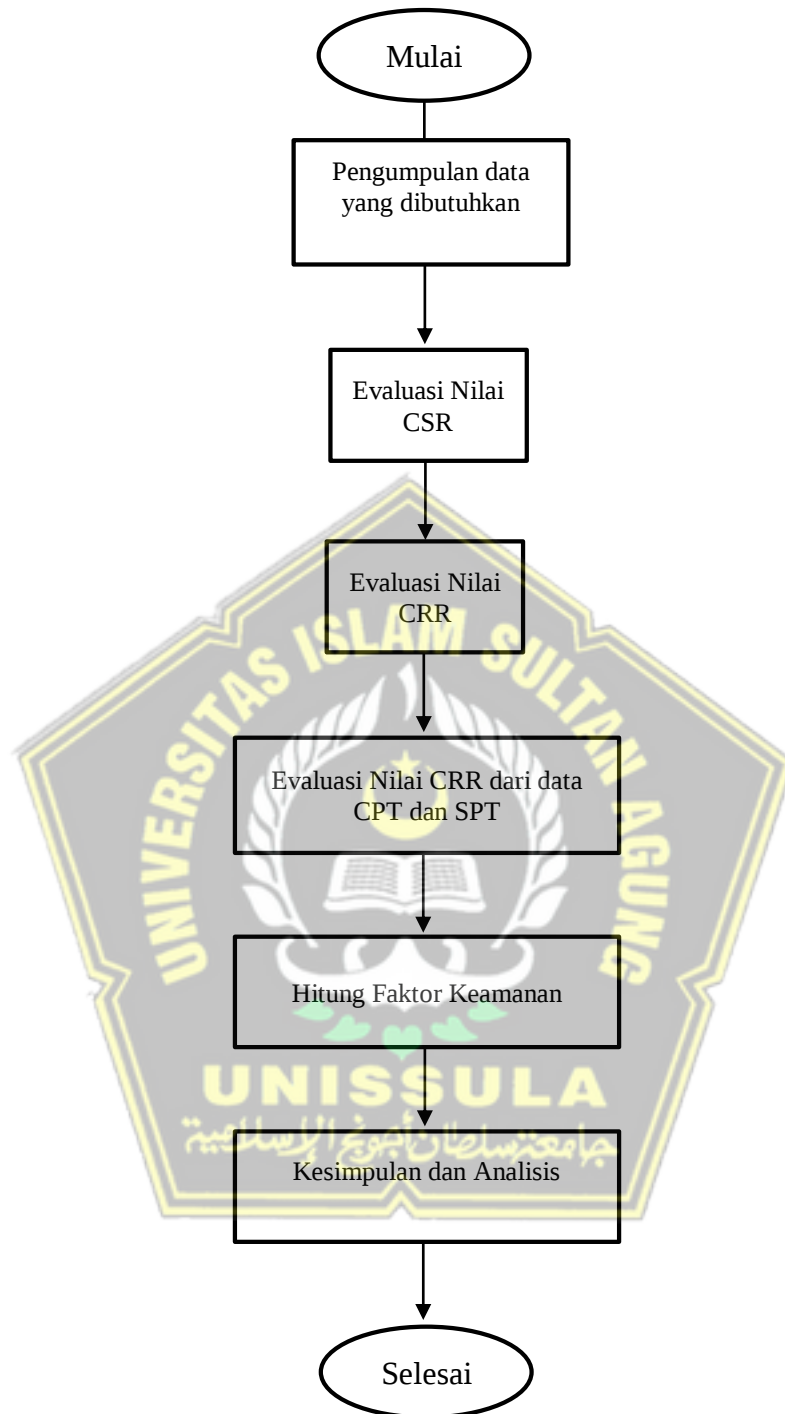
3.1 Tinjauan Umum

Dalam menganalisis potensi likuifaksi terdapat dua cara yang bisa dilakukan yaitu dengan *laboratory test* serta dari data tes lapangan (pendekatan perhitungan). Masing-masing dari beberapa cara juga memiliki metoda yg berbeda-beda dan selalu berkembang. pada masalah analisis potensi likuifaksi kali ini memakai pendekatan perhitungan data tes lapangan yaitu CPT serta SPT. Pada kasus ini mengambil studi kasus di suatu tempat yaitu lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo-Yogyakarta.

Menurut Robertson dan Campanella di tahun 1983 untuk menentukan jenis tanah pada setiap lapisan yaitu dengan menggunakan data dari tes CPT yang akan digunakan grafik korelasi antara *Friction Ratio* dengan tahanan ujung CPT. Kemudian mencari perhitungan untuk mendapatkan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR), nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR),

Pada buku yang berjudul "*Soil Liquefaction During Earthquakes*" tahun 2008. Untuk mengevaluasi perhitungannya parameter-parameter nilai likuifaksi dalam penelitian ini Literatur yang digunakan sebagian besar menggunakan persamaan-persamaan yang dikembangkan oleh I.M. Idriss dan R.W. Boulanger.

Adapun diagram alir proses metodologi penelitian sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Diagram alir metodologi penelitian

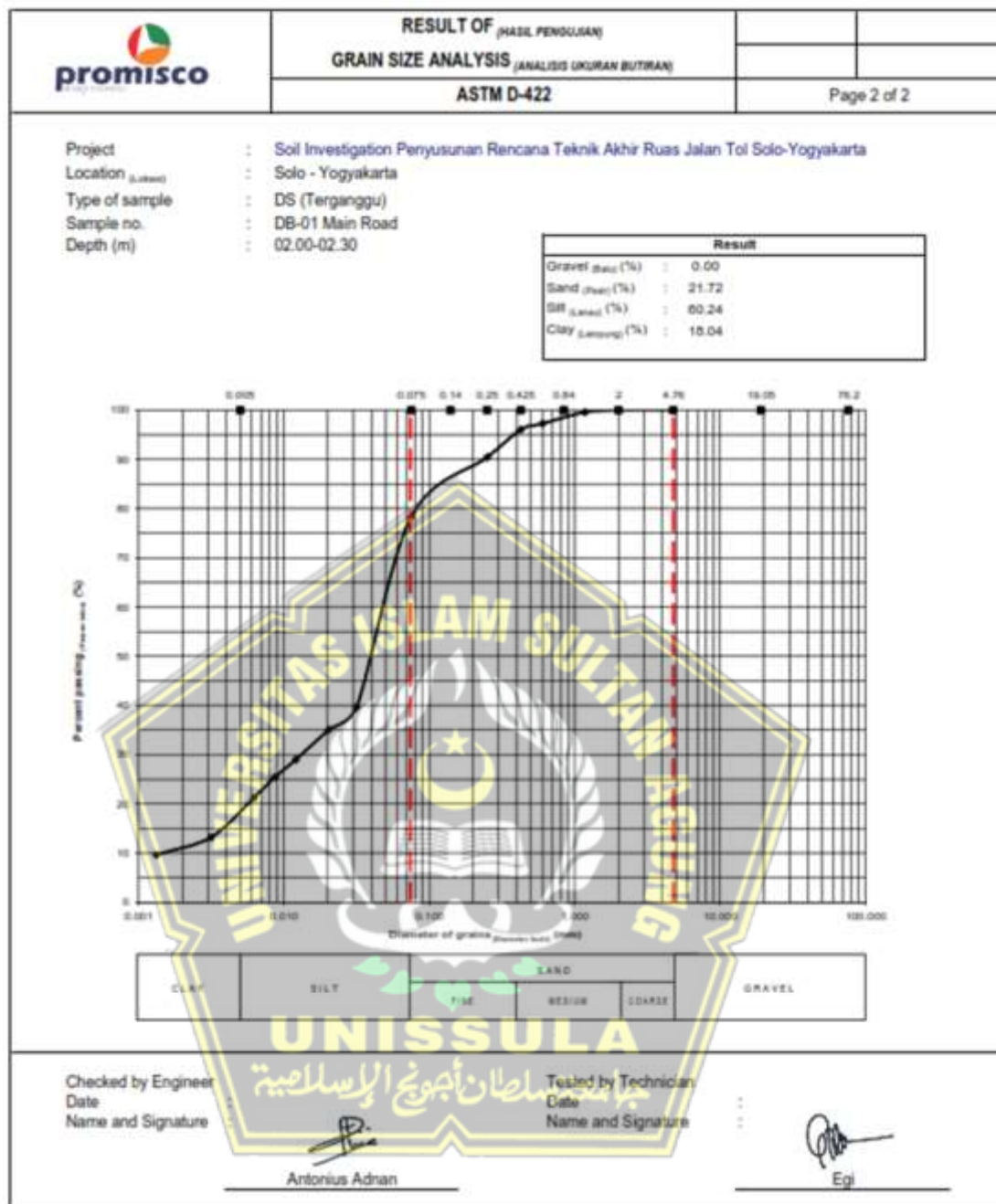
3.2 Data Teknis

Dalam penelitian ini akan menggunakan studi kasus di Proyek Pembangunan Jalan tol Solo-Yogyakarta. Dibangun di atas tanah berpasir dan diduga berpotensi likuifaksi. Penelitian ini secara umum menganalisis faktor keamanan likuifaksi yang diperoleh dari semua data yaitu data CPT dan SPT. Data teknis yang ada hanya sebatas uji lapangan yang dilakukan yaitu CPT dan SPT yang nantinya akan menghitung potensi likuifaksi dari masing-masing data tersebut.

3.3.1 Data CPT

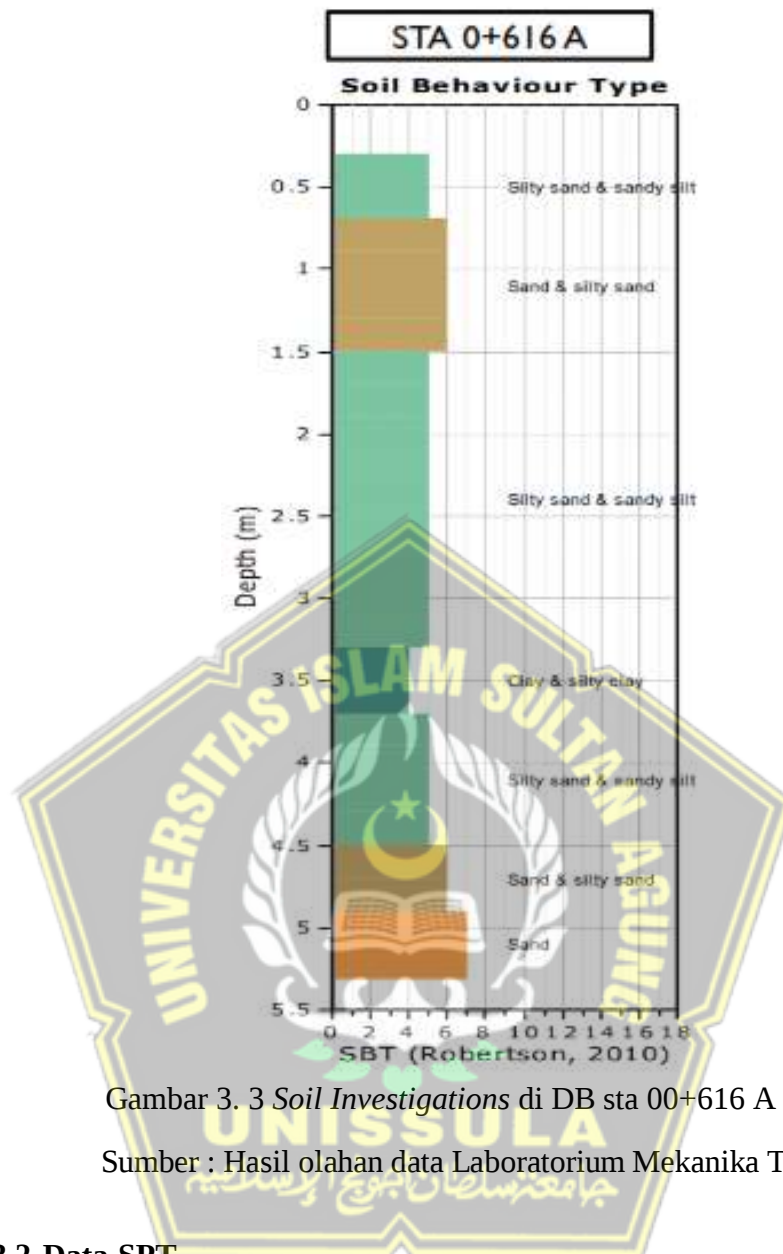
Berikut adalah salah satu contoh data CPT dari hasil uji titik pada lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo-Yogyakarta. beserta grafik. Data lainnya akan disertakan pada lampiran.





Gambar 3. 2 Grafik sondir

Sumber : Hasil olahan data Laboratorium Mekanika Tanah

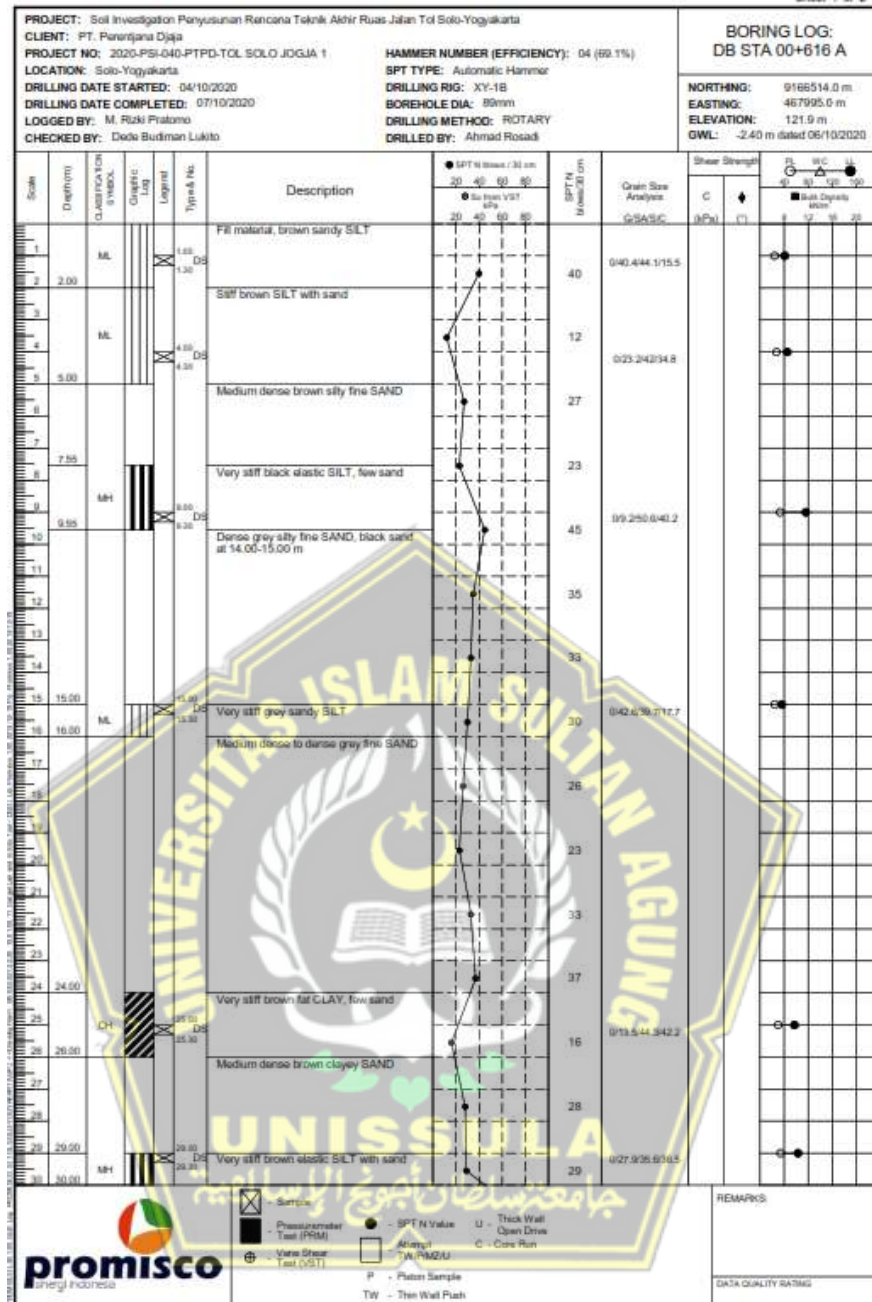


Gambar 3. 3 *Soil Investigations* di DB sta 00+616 A

Sumber : Hasil olahan data Laboratorium Mekanika Tanah

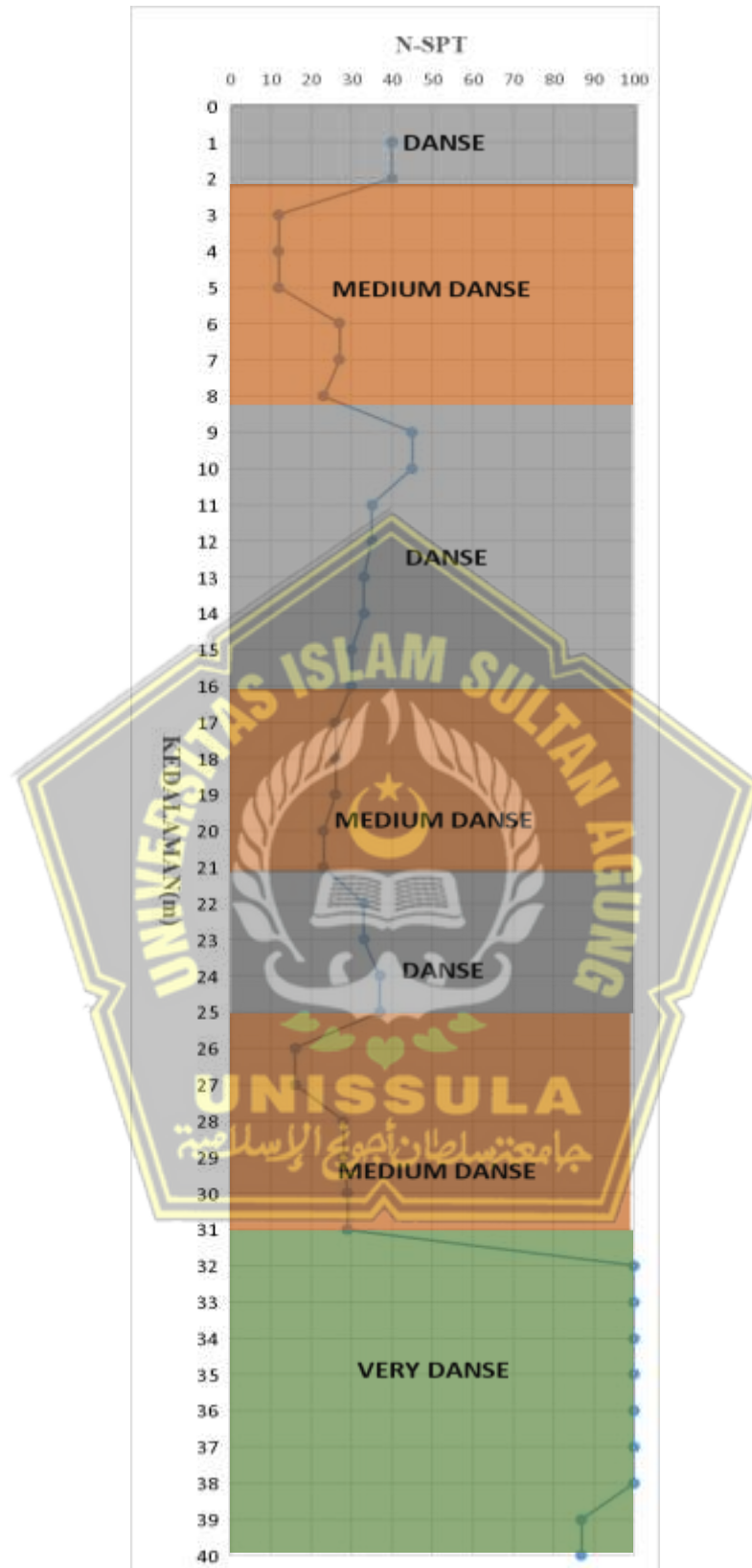
3.3.2 Data SPT

Berikut adalah salah satu contoh data SPT dari hasil uji titik pada lokasi proyek Pembangunan Jalan tol Solo-Yogyakarta beserta grafik. Data lainnya akan disertakan pada lampiran.



Gambar 3. 4 Tabel bor dalam SPT sta 0+616 A

Sumber :Hasil olahan data laboratorium mekanika tanah



Gambar 3. 5 *Soil Investigations* di DB sta 00+616 A

Sumber : Hasil olahan data Laboratorium Mekanika Tanah

3.3 Analisis Likuifaksi

Pada suatu analisis potensi likuifaksi diharapkan suatu nilai pegangan untuk mengetahui apakah likuifaksi akan terjadi atau tidak. Nilai pegangan ini yang biasa kita kenal dengan menggunakan faktor keamanan. Jika faktor keamanan yang < 1 menyatakan bahwa tanah tersebut dapat mengalami likuifaksi, sedangkan faktor keamanan $= 1$ adalah kondisi kritis tanah menuju likuifaksi, dan faktor keamanan dengan > 1 menyatakan bahwa potensi likuifaksi tidak terjadi.

Pada saat menganalisis faktor keamanan diperlukan nilai-nilai yang dapat dievaluasi terlebih dahulu. Adapun nilai tersebut merupakan nilai CSR (*Cyclic stress Ratio*) serta CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) yang diekspresikan sebagai berikut :

$$SF = CRR \cdot \left(\frac{MSFM}{CSR} \right) \dots \dots \dots (3.1)$$

3.3.1 Nilai CSR (Cyclic Stress Ratio)

Dalam menentukan nilai CSR perlu memperhitungkan nilai percepatan (a_{max}), gravitasi, *stress reduction factor*, dan *overload pressure* puncak seismik horizontal di permukaan tanah. Semua variabel ini diwakili oleh persamaan berikut:

$$CSR = (\tau_{av} / \sigma'_{vo}) = 0.65 (a_{max} / g) (\sigma_{vo} / \sigma'_{vo}) r_d \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana nilai r_d dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$\text{Untuk } z \leq 9,5 \text{ m } R_d = 1,0 - 0,00765z \dots \dots \dots (3.2)$$

$$\text{Untuk } 9,15 \leq z \leq 23 \text{ m } R_d = 1,174 - 0,0267z \dots \dots \dots (3.3)$$

Atau nilai r_d juga bisa diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut.

$$r_d = \frac{1,0 - 0,4113 z^{1,5} + 0,04052 z + 0,001753 z^{1,5}}{1,0 - 0,4177 z^{0,5} + 0,05729 z - 0,0066205 z^{1,5} + 0,00121 z^2} \dots \dots \dots (3.4)$$

Dan nilai overburden pressure yang didapatkan pada kedalaman yang ditinjau. Dimana a_{max} didapat dari tabel 3.1 berikut.

Wilayah Gempa	Percepatan Puncak Batuan Dasar (g)	Percepatan Puncak Muka Tanah, A_e (g)			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0.03	0.04	0.05	0.08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0.10	0.12	0.15	0.20	
3	0.15	0.18	0.23	0.30	
4	0.20	0.24	0.28	0.34	
5	0.25	0.28	0.32	0.36	
6	0.30	0.33	0.36	0.38	

Tabel 3. 2 Percepatan Puncak Batuan Dasar dan Percepatan Puncak Muka

Tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia

Sumber : SNI 03-1726-2002

3.3.2 Nilai CRR

Penentuan *cyclic resistance ratio* (CRR) membutuhkan *finer content* (FC) tanah untuk memperbaiki hitungan pukulan SPT yang diperbarui $(N1)_{60}$ ke ketahanan penetrasi standar pasir bersih yang setara nilai $(N1)_{60cs}$. Adapun cara untuk menganalisis nilai CRR dari CPT dan SPT sebagai berikut.

3.3.2.1 CPT

Untuk menentukan nilai CRR Menggunakan data CPT mungkin relatif hampir sama, yaitu Menggunakan faktor koreksi dari data yang ditinjau. Untuk CPT data yang dijadikan acuan yaitu tahanan ujung konus (q_c). Adapun berikut langkah-langkah untuk mendapatkan nilai CRR dari data CPT :

- a. Hitung nilai q_{c1N} , yaitu nilai tahanan ujung terkoreksi yang akandi rumuskan sebagai persamaan berikut.

$$q_{c1N} = C_Q (q_c / P_a) \dots\dots\dots (3.5)$$

Dimana:

C_Q =faktor normalisasi tahanan ujung konus

P_a =adalah tekanan pada 1 atm.

- b. Selanjutnya, ulangi nilai I_c dengan fungsi eksponensial “n” untuk menentukan jenis tanah dan mengkonfirmasi jenis tanah yang diuji. Pasalnya, teknologi CPT tidak memungkinkan penggunaan sampel yang bisa diuji di laboratorium. Rumus untuk mencari I_c adalah :

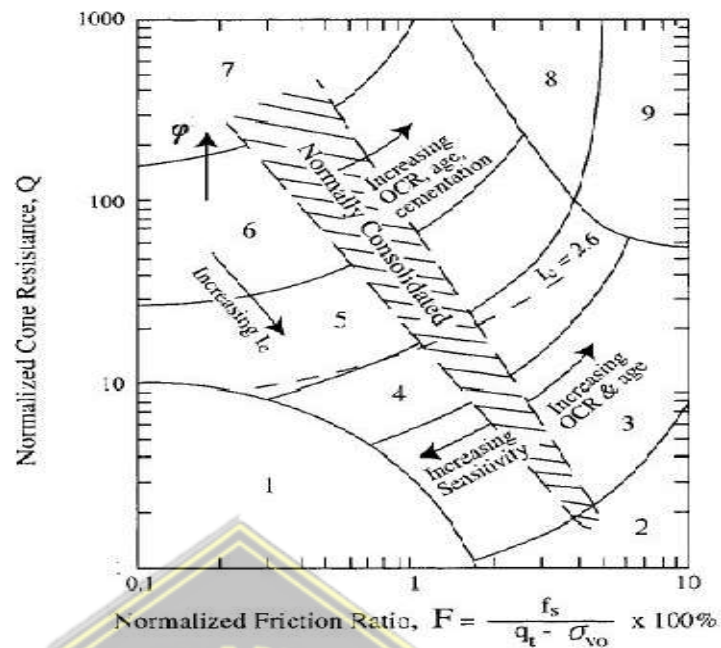
$$I = [(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2]^{0.5} \dots\dots\dots (3.6)$$

Jika nilai I_c yang dihasilkan lebih besar dari 2,6, harus ditulis ulang sebagai nilai Q atau eksponen "n". Hal ini dikarenakan ketika nilai I_c melebihi 2,6, terdapat banyak partikel halus di dalam tanah, menandakan bahwa tanah yang keras sulit untuk dicairkan. Tidak perlu melanjutkan perhitungan.

- c. Hitung nilai Q dimana nilai iterasi “n” sama dengan 1. Ini berarti bahwa tanah dianggap liat. Untuk pasir bersih, indeks yang cocok adalah 0,5. Rumus untuk mencari nilai Q adalah.

$$Q = [(q_c - \sigma_{vo}) / P_a] [P_a / \sigma'_{vo}]^{1.0} = [(q_c - \sigma_{vo}) / \sigma'_{vo}] \dots\dots (3.7)$$

Nilai Q juga dapat dikorelasikan dengan nilai FR (*Friction Ratio*) yang akan ditampilkan pada gambar 3.6 berikut.



Gambar 3. 6 Grafik korelasi FC dengan qc dan nilai CRR atau CSR

Sumber : *Soil Liquefaction During Earthquakes* by I.M Idriss and R.W. Boulanger

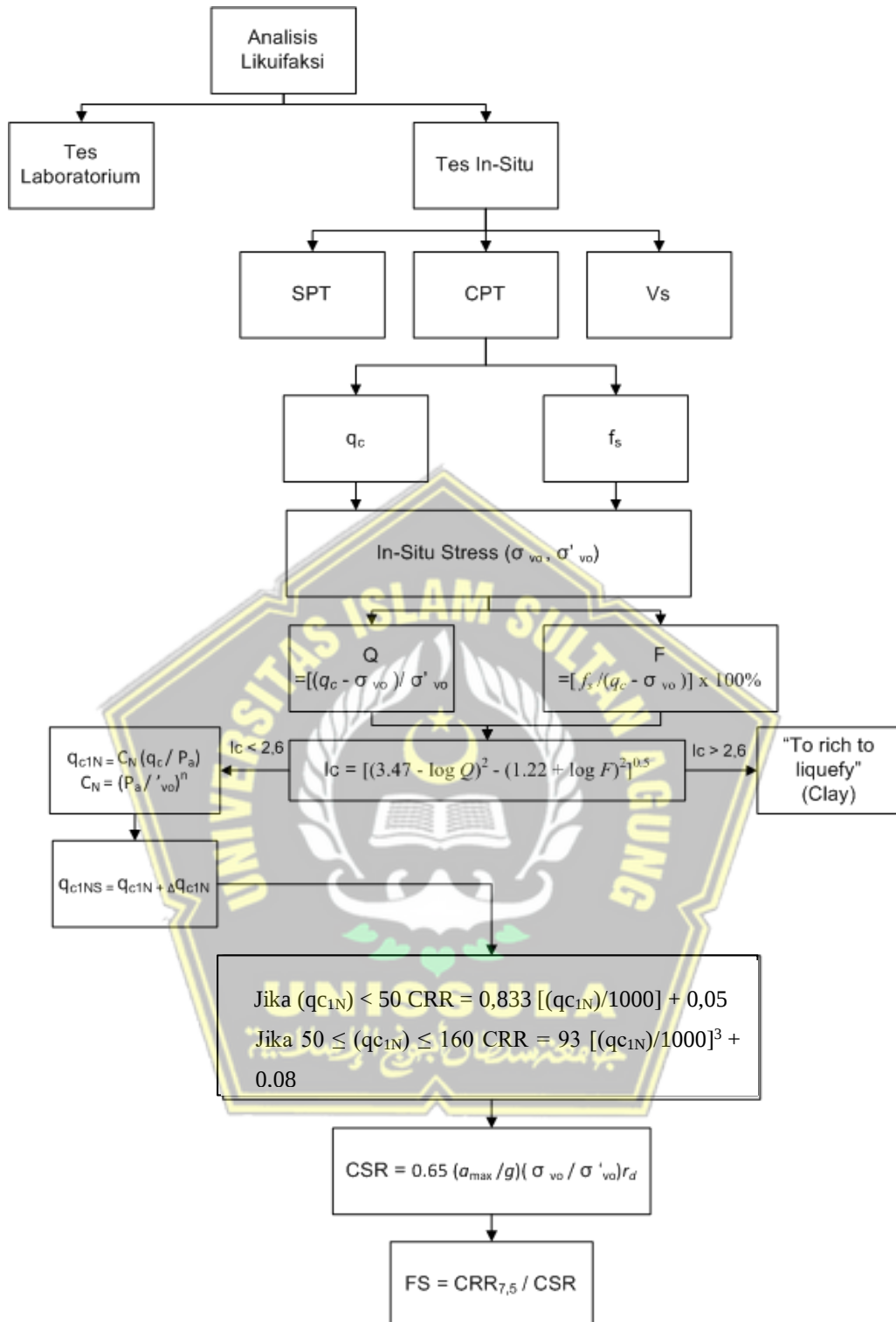
d. Lalu hitung nilai $F = [f_s / (q - \sigma_{vo})] \times 100\%$ (3.8)

e. Berikutnya yaitu menghitung nilai CSR dan Kemudian di lanjutkan menghitung nilai CRR dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Jika } (q_{c1N}) < 50 \quad \text{CRR} = 0,833 [(q_{c1N})/1000] + 0,05 \dots (3.9)$$

$$\text{Jika } 50 \leq (q_{c1N}) \leq 160 \quad \text{CRR} = 93 [(q_{c1N})/1000]^3 + 0,08 \dots (3.10)$$

Secara ringkas metoda CPT akan digambarkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Diagram alir metoda CPT

Sumber : Data olahan penulis

3.3.2.2 SPT

Adapun Langkah yang dapat dilakukan untuk mendapatkan nilai CRR dari data SPT yaitu sebagai berikut :

- Tentukan nilai $(N_1)_{60}$ menggunakan factor koreksi dan normalisasi dengan persamaan berikut.

$$(N_1)_{60} = N_m C_N C_E C_B C_R C_S \dots \dots \dots (3.11)$$

Dimana N_m ialah nilai SPT, dan yang lainnya ialah faktor koreksi (normalisasi) yang dapat ditentukan melalui tabel 3.3 berikut.

Faktor	Jenis Alat	Parameter	Koreksi
Tegangan vertikal efektif		C_N	$2.2 / (1.2 + (\sigma'_{vd} / Pa))$
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

Tabel 3. 3 Nilai Faktor Koreksi untuk $(N_1)_{60}$

Sumber : Youd dan Idriss (2001)

- Tentukan nilai FC (*Finest Content*) lalu hitung nilai $(N_1)_{60 \text{ cs}}$ yang dipengaruhi oleh nilai FC itu sendiri.

$$(N_1)_{60 \text{ cs}} = (N_1)_{60} + \Delta (N_1)_{60} \dots \dots \dots (3.12)$$

Dimana $\Delta (N_1)_{60}$ didapatkan dari persamaan berikut :

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp \left(1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left(\frac{15.7}{FC + 0.01} \right)^2 \right) \dots \dots \dots (3.13)$$

$$CRR_{7.5} = \exp \left(\frac{(N_1)_{60 \text{ cs}}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60 \text{ cs}}}{126} \right)^2 + \left(\frac{(N_1)_{60 \text{ cs}}}{14.1} \right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60 \text{ cs}}}{14.1} \right)^4 - 28 \right) \dots \dots \dots (3.14)$$

- Selanjutnya hitung nilai CRR pada besaran skala gempa (M_w)

7.5 dan pasir murni dengan $(N_1)_{60\text{ cs}} < 37,5$

$$\text{CRR}_{7,5} = \exp \left(\frac{(N_1)_{60\text{ cs}}}{14,1} + \left(\frac{(N_1)_{60\text{ cs}}}{126} \right)^2 + \left(\frac{(N_1)_{60\text{ cs}}}{14,1} \right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60\text{ cs}}}{14,1} \right)^4 - 28 \right) \dots\dots\dots (3.15)$$

Jika $(N_1)_{60\text{ cs}} > 37,5$ maka tanah tersebut tidak perlu di evaluasi karena nilai yang rentan akan likuifaksi ialah ketika $(N_1)_{60\text{ cs}} < 37,5$. Jika $(N_1)_{60\text{ cs}} > 37,5$ maka tanah tersebut kuat menahan beban seismik yang dapat diwakilkan dengan nilai $\text{CRR}_{7,5} = 2$.

3.3.3 *Liquefaction Potential Index (LPI)*

Indeks Potensi Likuifaksi (LPI) merupakan parameter tunggal yang digunakan untuk menilai potensi likuifaksi suatu wilayah. LPI di lokasi dihitung dengan mengintegrasikan faktor keamanan (FS) dengan kolom tanah hingga kedalaman 20 m. Fungsi pembobotan adalah ditambahkan untuk memberi bobot lebih pada lapisan yang lebih dekat ke tanah permukaan. *Liquefaction potential index* (LPI) yang diusulkan oleh Iwasaki dkk. (1978, 1982) diungkapkan di persamaan (2.26)

$$\text{LPI} = \int_0^{20} F(z) \cdot w(z) dz \dots\dots\dots (3.16)$$

Dimana z adalah kedalaman titik tengah lapisan tanah (0 hingga 20 m) dan dz adalah selisih kenaikan kedalaman. faktor bobot $w(z)$, dan faktor keparahan $F(z)$, dihitung sebagai persamaan berikut :

$$F(z) = 1 - SF \text{ untuk } SF < 1,0 \dots\dots\dots (3.17)$$

$$F(z) = 0 \text{ untuk } SF > 1,0 \dots\dots\dots (3.18)$$

$$w(z) = 10 - 0,5(z) \text{ untuk } z < 20 \text{ meter} \dots\dots\dots (3.19)$$

$$w(z) = 0 \text{ untuk } z > 20 \text{ meter} \dots\dots\dots (3.20)$$

kemudian menentukan *liquefaction severity* di dapat dari total rata-rata *liquefaction potential index* dengan table 3.4

LPI	Iwasaki et al. (1982)	Luna and Frost (1998)	MERM (2003)
$LPI = 0$	Very low	Little to none	None
$0 < LPI < 5$	Low	Minor	Low
$5 < LPI < 15$	High	Moderate	Medium
$15 < LPI$	Very high	Major	High

Tabel 3. 4 Tingkat keparahan LPI

Sumber : Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 2759–2768, 2012

3.4 Analisis output

Output yang dapat dianalisis tertuang dalam tiga output, yaitu grafik CSR dan Depth, CRR dan Depth, LPI dan Depth. Setelah menganalisa output di atas, maka gambar akhir merupakan kesimpulan dari analisa yang dilakukan terhadap hasil data output Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo-Yogyakarta.

3.5 Kesimpulan

Membuat rancangan kesimpulan sesuai dengan proses pengolahan data permodelan konstruksi yang mengacu pada pembahasan yang dibuat dengan singkat dan dapat menggambarkan dengan baik dan jelas hasil analisa tersebut.

3.6 Pembuatan Laporan

Pembuatan laporan dilakukan dengan menyusun hasil dari penelitian yang sudah diselesaikan. Isi laporan memuat hasil data analisis potensi likuifaksi menggunakan Excel serta tahapan pekerjaan yang dibutuhkan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini penulis akan memaparkan hasil dari pengolahan data dari CPT dan SPT dengan menggunakan perhitungan manual.

Pada perhitungan manual ini penulis menggunakan perangkat lunak yaitu dengan menggunakan *Microsoft Excel* sehingga bisa didapatkan nilai-nilai yang bias diplotkan dengan grafik-grafik yang bisa dianalisis dari masing-masing data serta bisa dibandingkan dengan sumber data dengan yang lainnya.

Dengan ini penulis menganalisis potensi likuifaksi dilakukan dengan beberapa titik dan kedalaman yang berbeda-beda dengan batas kedalaman sampai ± 40 m. Karena dari kutipan dari buku yang berjudul "*Basic Geotechnical Engineering*" karya dari penulis Kamalesh Kumar yaitu "*It has been reported that possible zone of liquefaction extend from ground surface to a maximum depth of 15 m. Deeper soils usually don't liquefy due to higher confining pressure*" Kutipan tersebut menyatakan bahwa Zona likuifaksi dipengaruhi oleh tekanan penghalang, sehingga memanjang hingga kedalaman 15 meter atau lebih dari permukaan bumi. Semakin dalam, semakin tinggi nilai tekanan kurungan dan semakin besar kemungkinan tanah akan ditoleransi oleh gempa bumi. Untuk itu latar belakang penulis melakukan evaluasi nilai potensi likuifaksi hingga ± 20 meter.

Langkah pertama dalam menganalisis potensi likuifaksi adalah menentukan apakah tanah tersebut rawan likuifaksi. Sebagian besar tanah yang rentan terhadap likuifaksi adalah tanah yang tidak lengket. Karena tanah yang lengket hanya dapat menyebabkan likuifaksi pada kondisi tertentu.

4.1 Pengolahan data CPT

Dari data sondir dalam CPT yang ada bisa didapatkan yaitu adanya potensi likuifaksi yang terjadi. Adapun nilai yang dapat mengetahui titik tersebut dapat berpotensi likuifaksi atau tidak likuifaksi yaitu dengan "*Factor of Safety*" (FS). Nilai FS tersebut dapat mempresentasikan bahwa potensi likuifaksi itu ada atau tidak. Ada beberapa cara untuk menganalisis potensi likuifaksi. Namun cara yang paling sederhana yaitu sebagai berikut :

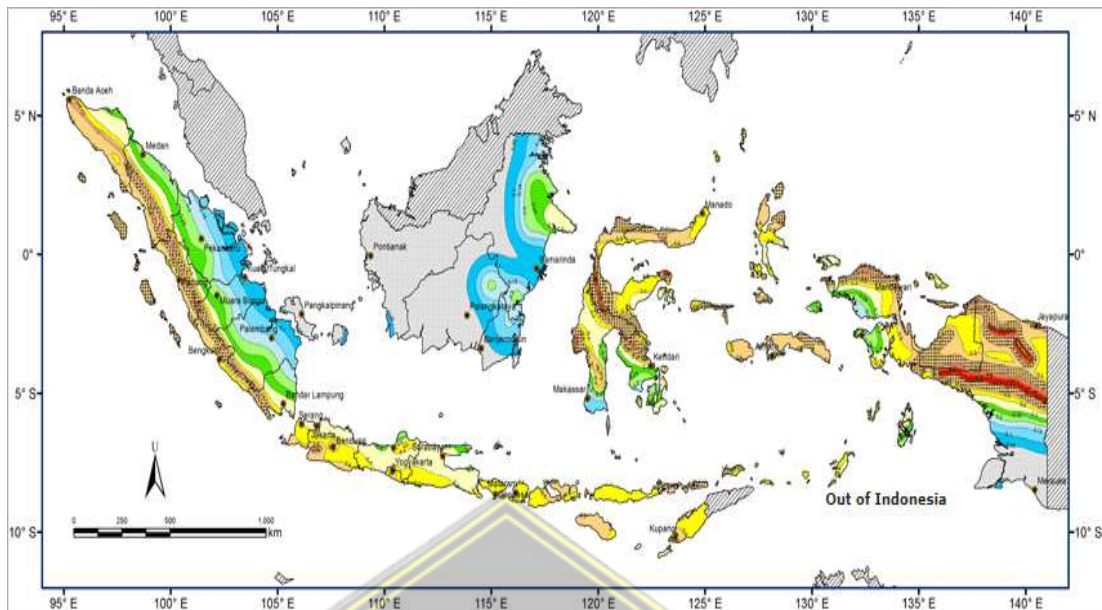
- a) Langkah pertama yaitu dengan menentukan apakah tanah yang akan ditinjau mempunyai kecenderungan potensi likuifaksi atau tidak
- b) Kondisi tanah harus dibawah muka air tanah
- c) Selanjutnya yaitu dengan cara menentukan nilai dari *cyclic stress ratio* (CSR)
- d) Dengan menggunakan nilai parameter tanah dari berbagai uji interpretasi kekuatan tanah seperti SPT, CPT, Vs, BPT bisa dihitung dengan menggunakan nilai *cyclic resistance ratio* (CRR). Jika nilai CSR yang bergantung pada kekuatan gempa lebih besar dari nilai CRR maka likuifaksi akan terjadi pada kedalaman yang ditinjau
- e) Pada akhirnya factor keamanan bisa dihitung sebagai $FS = \frac{CSR}{CRR}$

Berikut ini adalah perhitungan nilai SF yang dikutip dari rumus yang ada di Bab 2 dasar teori

$$SF = CRR \cdot \left(\frac{MSFM}{CSR} \right)$$

- Jika $SF < 1$ maka akan terjadinya likuifaksi
- Jika $SF = 1$ maka kondisinya kritis
- Jika $SF > 1$ maka tidak akan terjadinya likuifaksi

Nilai CSR tergantung dari seberapa besar dari gempa bumi yang terjadi pada suatu zona tertentu. Untuk lokasi yang ditinjau digunakan $PGA = 0,39 g$ yang diperoleh dari Peta Wilayah Gempa Indonesia SNI 1726:2019



Gambar 4. 1 Peta Wilayah Gempa Indonesia Menurut SNI 1726:2019

Sumber : SNI 1726:2019

Adapun formula untuk menghitung CSR di (2.5), dan untuk menghitung CRR tergantung pada data dari pengujian yang telah dilakukan. Untuk CPT sendiri menggunakan formula di (2.9) dan (2.10)

Dari rumus-rumus tersebut dapat diformulasikan dalam sebuah tabel pada software microsoft excel pada tabel 4.1 sampai 4.3

Contoh perhitungan DB sta 00+616 A:

a) Data

- Kedalaman : 3 m - a_{max} : 0,39 g
- q_c : 2,35 mpa - γ : 34,23 kN/m³
: 2350 kN/m³
- γ_{sat} : 44,23 kN/m³ - GWL : - 2.40
- $M_{sfm 7}$: 1,1 (didapat pada gambar 2.4)

b) Tegangan Total (σ_v)

$$\begin{aligned}\sigma_v &= (z - 2,8) \gamma_{sat} \\ &= ((3 - 2,8) \cdot 44,23) + 123,84 \\ &= 132,68 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

c) Tegangan Efektif (σ_v') Karena GWL - 2,40

$$\sigma_v' = \sigma_v - \mu$$

$$= ((3-2,8)-(0,4 \cdot 44,23)+(0,6 \cdot 34,23))+ 88,24$$

$$= 91,28 \text{ kN/m}^2$$

d) Normalisasi tahanan konus (q_{c1N})

$$q_{c1N} = CQ \cdot \left(\frac{q_c}{p_a}\right)$$

$$= \left(\left(\frac{p_a}{\sigma_v}\right)^{0,5} \leq 1,7\right) \cdot \left(\frac{q_c}{p_a}\right)$$

$$= \left(\left(\frac{100}{196,83}\right)^{0,5} \leq 1,7\right) \cdot \left(\frac{2840}{100}\right)$$

$$= 1,05 \cdot \left(\frac{2840}{100}\right)$$

$$= 29,72$$

e) Reduksi tegangan siklik (rd)

$$Rd = 1,00 - (0,00765 \cdot 3)$$

$$= 0,98$$

f) *Cyclic Stress Ratio* (CSR)

$$CSR = 0,65 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_v}{\sigma_v'}\right) \cdot rd$$

$$= 0,65 \cdot \left(\frac{0,39}{g}\right) \cdot \left(\frac{132,68}{91,28}\right) \cdot 0,98$$

$$= 0,36$$

g) *Cyclis Resistance Ratio* (CRR)

$$CRR = 0,833 \cdot \left(\frac{q_{c1N}}{1000}\right) + 0,05$$

$$= 0,833 \cdot \left(\frac{20,24}{1000}\right) + 0,05$$

$$= 0,07$$

h) *Safety Factor* (SF)

$$SF = CRR \cdot \left(\frac{MSFM}{CSR}\right)$$

$$= 0,07 \cdot \left(\frac{1,1}{0,17}\right)$$

= 0,23 < 1 maka berpotensi likuifaksi

Kedalaman	Jenis	q_c (mpa)	f_c %	σ_v (kn/m ²)	σ_v' (kn/m ²)	Rd	CQ	q_{c1N}	CSR	CRR	SF	KET.
0.4	Silty	2.35	0.83	17.69	13.69	1.00	2.70	39.95	0.33	0.08	0.28	Berpotensi Likuifaksi
0.6	Silty	3.53	0.74	26.54	20.54	1.00	2.21	60.01	0.33	0.10	0.34	Berpotensi Likuifaksi

Kedalaman	Jenis	qc (mpa)	fc %	σ_v (kN/m ²)	σ_v' (kN/m ²)	Rd	CQ	qc1N	CSR	CRR	SF	KET.
0.8	Sand	5.79	0.45	35.38	27.38	0.99	1.91	98.43	0.33	0.17	0.57	Berpotensi Likuifaksi
1	Sand	5.59	0.47	44.23	34.23	0.99	1.71	95.03	0.33	0.16	0.54	Berpotensi Likuifaksi
1.2	Sand	13.34	0.29	53.07	41.07	0.99	1.56	208.15	0.32	0.92	3.11	Tidak Berpotensi Likuifaksi
1.4	Sand	3.53	0.74	61.92	47.92	0.99	1.44	50.99	0.32	0.09	0.31	Berpotensi Likuifaksi
1.6	Silty	2.55	0.77	70.76	54.76	0.99	1.35	34.46	0.32	0.08	0.27	Berpotensi Likuifaksi
1.8	Silty	3.43	0.76	79.61	61.61	0.99	1.27	43.70	0.32	0.09	0.29	Berpotensi Likuifaksi
2	Silty	4.51	0.72	88.46	68.46	0.98	1.21	54.51	0.32	0.10	0.33	Berpotensi Likuifaksi
2.2	Silty	2.26	1.16	97.30	75.30	0.98	1.15	26.04	0.32	0.07	0.24	Berpotensi Likuifaksi
2.4	Silty	2.16	0.91	106.15	82.15	0.98	1.10	23.83	0.32	0.07	0.24	Berpotensi Likuifaksi
2.6	Silty	2.06	0.95	114.99	85.19	0.98	1.08	22.32	0.34	0.07	0.22	Berpotensi Likuifaksi
2.8	Silty	2.65	0.99	123.84	88.24	0.98	1.06	28.21	0.35	0.07	0.23	Berpotensi Likuifaksi
3	Silty	2.84	0.92	132.68	91.28	0.98	1.05	29.72	0.36	0.07	0.23	Berpotensi Likuifaksi
3.2	Silty	2.35	1.39	141.53	94.33	0.98	1.03	24.20	0.37	0.07	0.21	Berpotensi Likuifaksi
3.4	Clay	1.57	1.25	150.37	97.37	0.97	1.01	15.91	0.38	0.06	0.18	Berpotensi Likuifaksi
3.6	Clay	1.08	1.82	159.22	100.42	0.97	1.00	10.78	0.39	0.06	0.17	Berpotensi Likuifaksi
3.8	Silty	1.47	1.78	168.07	103.47	0.97	0.98	14.45	0.40	0.06	0.17	Berpotensi Likuifaksi
4	Silty	3.33	0.78	176.91	106.51	0.97	0.97	32.27	0.41	0.08	0.21	Berpotensi Likuifaksi
4.2	Silty	3.63	0.9	185.76	109.56	0.97	0.96	34.68	0.42	0.08	0.21	Berpotensi Likuifaksi
4.4	Silty	4.41	0.74	194.60	112.60	0.97	0.94	41.56	0.42	0.08	0.22	Berpotensi Likuifaksi
4.6	Sand	4.02	0.5	203.45	115.65	0.96	0.93	37.38	0.43	0.08	0.21	Berpotensi Likuifaksi
4.8	Sand	16.18	0.24	212.29	118.69	0.96	0.92	148.51	0.44	0.38	0.97	Berpotensi Likuifaksi
5	Sand	20.79	0.25	221.14	121.74	0.96	0.91	188.42	0.44	0.70	1.74	Tidak Berpotensi Likuifaksi
5.2	Sand	24.52	0.03	229.99	124.79	0.96	0.90	219.50	0.45	1.06	2.61	Tidak Berpotensi Likuifaksi

Table 4. 1 Hasil Perhitungan *Safety Factor* (SF) di DB sta 00+616 a

Sumber : Hasil olahan data penulis

Kedalaman	Jenis	qc (mpa)	fc %	σ_v (kN/m ²)	σ_v' (kN/m ²)	Rd	CQ	qc1N	CSR	CRR	SF	KET.
0.2	Silty	3.04	0.86	10.22	8.26	1.00	3.48	51.68	0.31	0.09	0.33	Berpotensi Likuifaksi
0.4	Silty	5.39	0.61	20.44	16.51	1.00	2.46	91.63	0.31	0.15	0.53	Berpotensi Likuifaksi
0.6	Sand	6.37	0.62	30.66	24.77	1.00	2.01	108.29	0.31	0.20	0.70	Berpotensi Likuifaksi
0.8	Silty	3.63	0.72	40.87	33.03	0.99	1.74	61.71	0.31	0.10	0.36	Berpotensi Likuifaksi
1	Silty	2.06	0.95	51.09	41.29	0.99	1.56	32.06	0.31	0.08	0.27	Berpotensi Likuifaksi
1.2	Clay	1.77	1.11	61.31	49.54	0.99	1.42	159.30	0.31	0.46	1.61	Tidak Berpotensi Likuifaksi
1.4	Silty	1.77	1.48	71.53	57.80	0.99	1.32	23.28	0.31	0.07	0.25	Berpotensi Likuifaksi
1.6	Silty	3.43	0.76	81.75	66.06	0.99	1.23	42.20	0.31	0.09	0.30	Berpotensi Likuifaksi
1.8	Sand	4.22	0.78	91.97	74.31	0.99	1.16	48.95	0.31	0.09	0.32	Berpotensi Likuifaksi
2	Sand	7.06	0.46	102.19	82.57	0.98	1.10	77.69	0.31	0.12	0.44	Berpotensi Likuifaksi
2.2	Sand	7.75	0.51	112.40	90.83	0.98	1.05	81.32	0.31	0.13	0.46	Berpotensi Likuifaksi
2.4	Sand	10.1	0.39	122.62	99.09	0.98	1.00	101.46	0.31	0.18	0.63	Berpotensi Likuifaksi
2.6	Sand	9.51	0.34	132.84	107.34	0.98	0.97	91.79	0.31	0.15	0.54	Berpotensi Likuifaksi
2.8	Sand	5.79	0.45	143.06	115.60	0.98	0.93	53.85	0.31	0.09	0.34	Berpotensi Likuifaksi
3	Sand	12.65	0.26	153.28	123.86	0.98	0.90	113.67	0.31	0.22	0.78	Berpotensi Likuifaksi
3.2	Sand	17.95	0.22	163.50	132.11	0.98	0.87	156.17	0.31	0.43	1.56	Tidak Berpotensi Likuifaksi
3.4	Sand	4.51	0.58	173.71	140.37	0.97	0.84	38.07	0.31	0.08	0.29	Berpotensi Likuifaksi
3.6	Silty	0.59	2.22	183.93	148.63	0.97	0.82	4.84	0.31	0.05	0.19	Berpotensi Likuifaksi
3.8	Clay	0.88	2.22	194.15	156.89	0.97	0.80	7.03	0.30	0.06	0.20	Berpotensi Likuifaksi
4	Clay	1.37	1.43	204.37	165.14	0.97	0.78	10.66	0.30	0.06	0.21	Berpotensi Likuifaksi
4.2	Clay	1.86	1.40	214.59	173.40	0.97	0.76	14.12	0.30	0.06	0.22	Berpotensi Likuifaksi
4.4	Silty	3.33	0.78	224.81	181.66	0.97	0.74	24.71	0.30	0.07	0.26	Berpotensi Likuifaksi
4.6	Sand	6.18	0.53	235.03	189.92	0.96	0.73	44.84	0.30	0.09	0.32	Berpotensi Likuifaksi
4.8	Sand	6.57	0.50	245.24	198.17	0.96	0.71	46.67	0.30	0.09	0.32	Berpotensi Likuifaksi
5	Sand	6.37	0.41	255.46	206.43	0.96	0.70	44.34	0.30	0.09	0.32	Berpotensi Likuifaksi
5.2	Sand	6.28	0.52	265.68	214.69	0.96	0.68	42.86	0.30	0.09	0.31	Berpotensi Likuifaksi
5.4	Silty	3.82	0.85	275.90	222.94	0.96	0.67	2.56	0.30	0.05	0.19	Berpotensi Likuifaksi
5.6	Silty	3.63	0.72	286.12	231.20	0.96	0.66	23.87	0.30	0.07	0.26	Berpotensi Likuifaksi
5.8	Silty	3.53	0.93	296.34	239.46	0.96	0.65	22.81	0.30	0.07	0.25	Berpotensi Likuifaksi
6	Sand	5.3	0.74	306.56	247.72	0.95	0.64	33.67	0.30	0.08	0.29	Berpotensi Likuifaksi
6.2	Sand	11.28	0.35	316.77	255.97	0.95	0.63	70.50	0.30	0.11	0.41	Berpotensi Likuifaksi
6.4	Sand	15.98	0.25	326.99	264.23	0.95	0.62	98.31	0.30	0.17	0.62	Berpotensi Likuifaksi

Kedalaman	Jenis	qc (mpa)	fc %	σ_v (kN/m ²)	σ_v' (kN/m ²)	Rd	CQ	qc1N	CSR	CRR	SF	KET.
6.6	Sand	18.83	0.24	337.21	272.49	0.95	0.61	114.07	0.30	0.22	0.81	Berpotensi Likuifaksi
6.8	Sand	24.52	0.03	347.43	280.74	0.95	0.60	146.34	0.30	0.37	1.37	Tidak Berpotensi Likuifaksi

Table 4. 2 Hasil Perhitungan *Safety Factor* (SF) di DB sta 01+116

Sumber : Hasil olahan data penulis

Kedalaman	Jenis	qc (mpa)	fc %	σ_v (kN/m ²)	σ_v' (kN/m ²)	Rd	CQ	qc1N	CSR	CRR	SF	KET.
0.2	Clay	0.59	2.22	12.26	10.30	1.00	3.12	10.03	0.30	0.06	0.21	Berpotensi Likuifaksi
0.4	Clay	0.29	2.22	24.52	20.59	1.00	2.20	4.93	0.30	0.05	0.20	Berpotensi Likuifaksi
0.6	Clay	0.34	2.86	36.77	30.89	1.00	1.80	5.78	0.30	0.05	0.20	Berpotensi Likuifaksi
0.8	Silty	0.29	4.44	49.03	41.19	0.99	1.56	4.52	0.30	0.05	0.20	Berpotensi Likuifaksi
1	Silty	0.39	1.67	61.29	51.48	0.99	1.39	1.17	0.30	0.05	0.19	Berpotensi Likuifaksi
1.2	Silty	6.96	0.38	73.55	61.78	0.99	1.27	88.55	0.30	0.14	0.53	Berpotensi Likuifaksi
1.4	Sand	8.73	0.37	85.81	72.08	0.99	1.18	102.83	0.30	0.18	0.67	Berpotensi Likuifaksi
1.6	Sand	11.18	0.29	98.07	82.38	0.99	1.10	123.18	0.30	0.25	0.94	Berpotensi Likuifaksi
1.8	Sand	16.18	0.2	110.32	92.67	0.99	1.04	168.07	0.30	0.52	1.92	Tidak Berpotensi Likuifaksi
2	Sand	14.02	0.28	122.58	102.97	0.98	0.99	138.16	0.30	0.33	1.20	Tidak Berpotensi Likuifaksi
2.2	Sand	17.46	0.19	134.84	113.27	0.98	0.94	164.06	0.30	0.49	1.82	Tidak Berpotensi Likuifaksi
2.4	Sand	11.08	0.29	147.10	123.56	0.98	0.90	99.68	0.30	0.17	0.64	Berpotensi Likuifaksi
2.6	Sand	8.73	0.3	159.36	133.86	0.98	0.86	75.45	0.30	0.12	0.45	Berpotensi Likuifaksi
2.8	Sand	5	0.52	171.62	144.16	0.98	0.83	41.64	0.30	0.08	0.31	Berpotensi Likuifaksi
3	Sand	6.86	0.48	183.87	154.45	0.98	0.80	55.20	0.30	0.10	0.36	Berpotensi Likuifaksi
3.2	Sand	10.89	0.36	196.13	164.75	0.98	0.78	84.84	0.29	0.14	0.51	Berpotensi Likuifaksi
3.4	Sand	18.34	0.25	208.39	175.05	0.97	0.76	138.62	0.29	0.33	1.22	Tidak Berpotensi Likuifaksi
3.6	Sand	14.42	0.27	220.65	185.35	0.97	0.73	105.92	0.29	0.19	0.71	Berpotensi Likuifaksi
3.8	Sand	24.52	0.03	232.91	195.64	0.97	0.71	175.30	0.29	0.58	2.18	Tidak Berpotensi Likuifaksi

Table 4. 3 Hasil Perhitungan *Safety Factor* (SF) di DB sta 02+538

Sumber : Hasil olahan data penulis

4.1.1 Hasil pengolahan data

Data lapangan dari hasil pengujian CPT menunjukkan resistansi ujung konus (qc). Nilai gesekan lapisan tanah dapat dihitung dari nilai qc yang ada. Dari nilai tahanan ujungl dapat dihitung nilai CRR yang

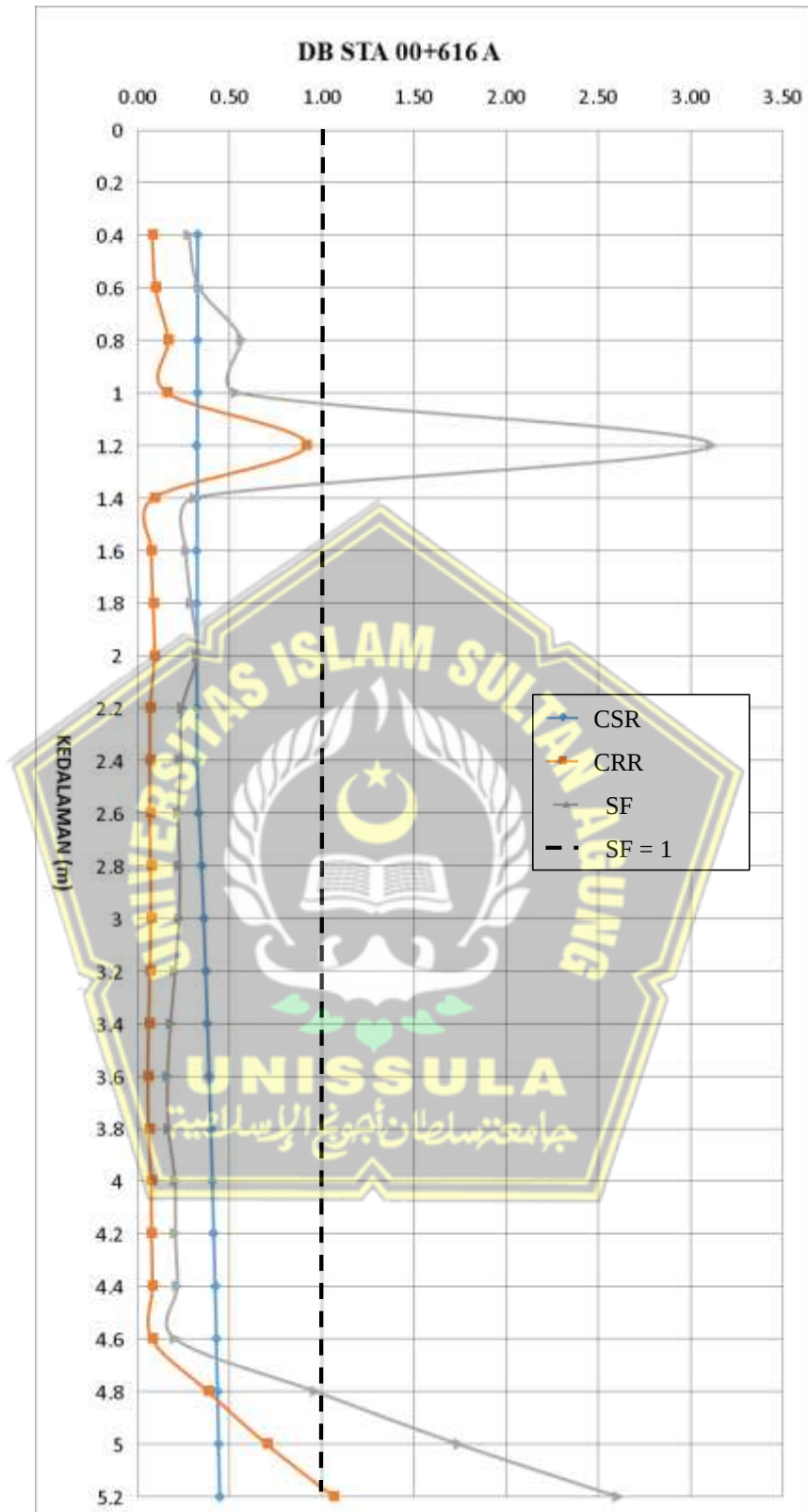
merepresentasikan nilai tahanan tanah terhadap beban berulang akibat gempa. Nilai q_c dapat diolah menjadi grafik CPT.

Sebagai hasil dari pengolahan data ini, data dan grafik rasio gesekan (FR) yang dihitung seperti grafik CSR, CRR, dan SF yang ditampilkan.

4.1.1.1 Grafik CSR, CRR, dan SF

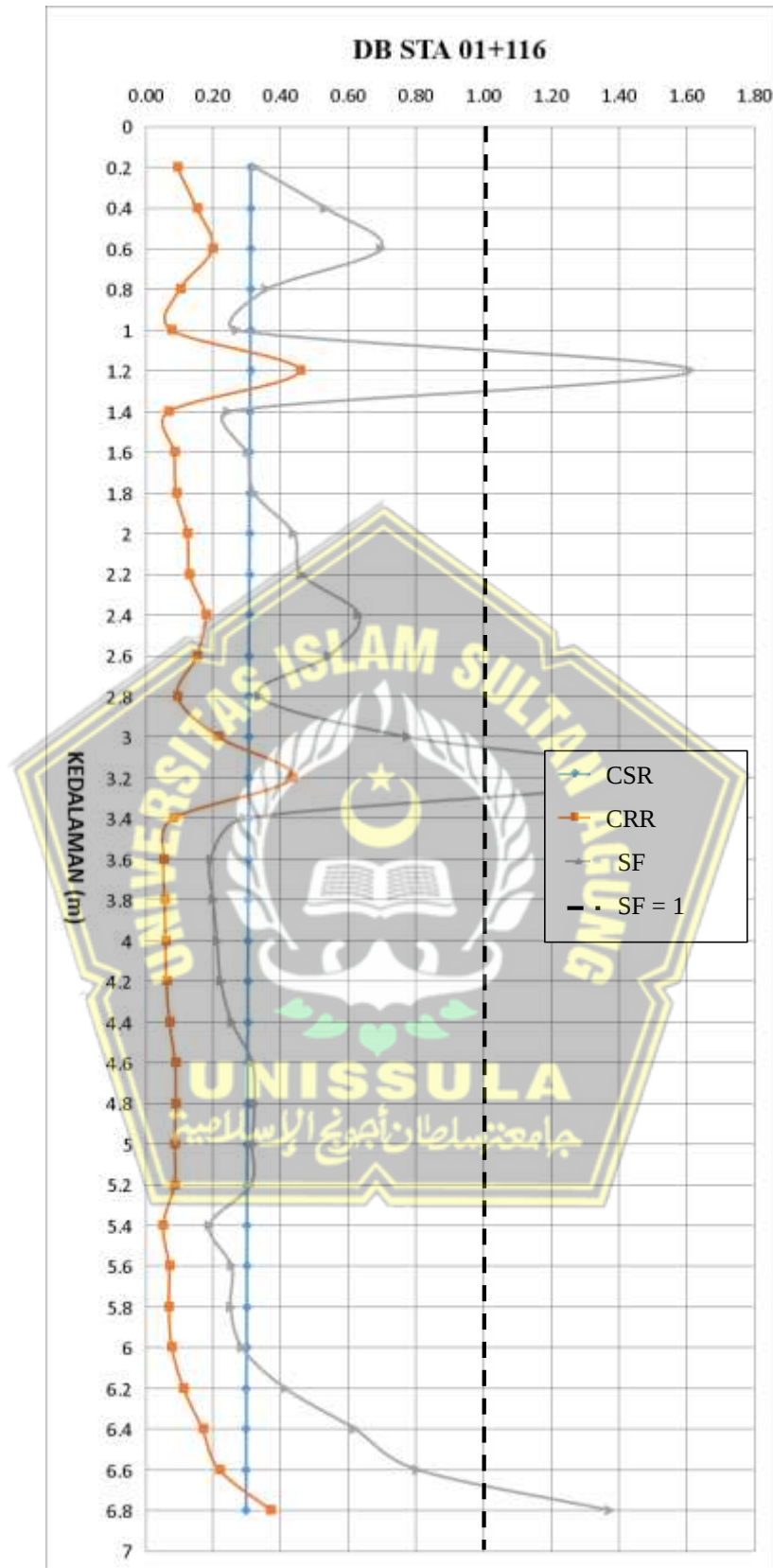
Dari data sondir dalam proyek jalan tol Solo-Yogyakarta yang akan diuji adalah sebanyak 3 titik sondir yang akan disajikan masing-masing grafik CSR, CRR dan SF (Faktor Keamanan). Berikut akan ditampilkan beberapa grafik yang sudah dihitung dalam formula menggunakan *software microsoft excel* pada tabel 4.2 sampai 4.4.





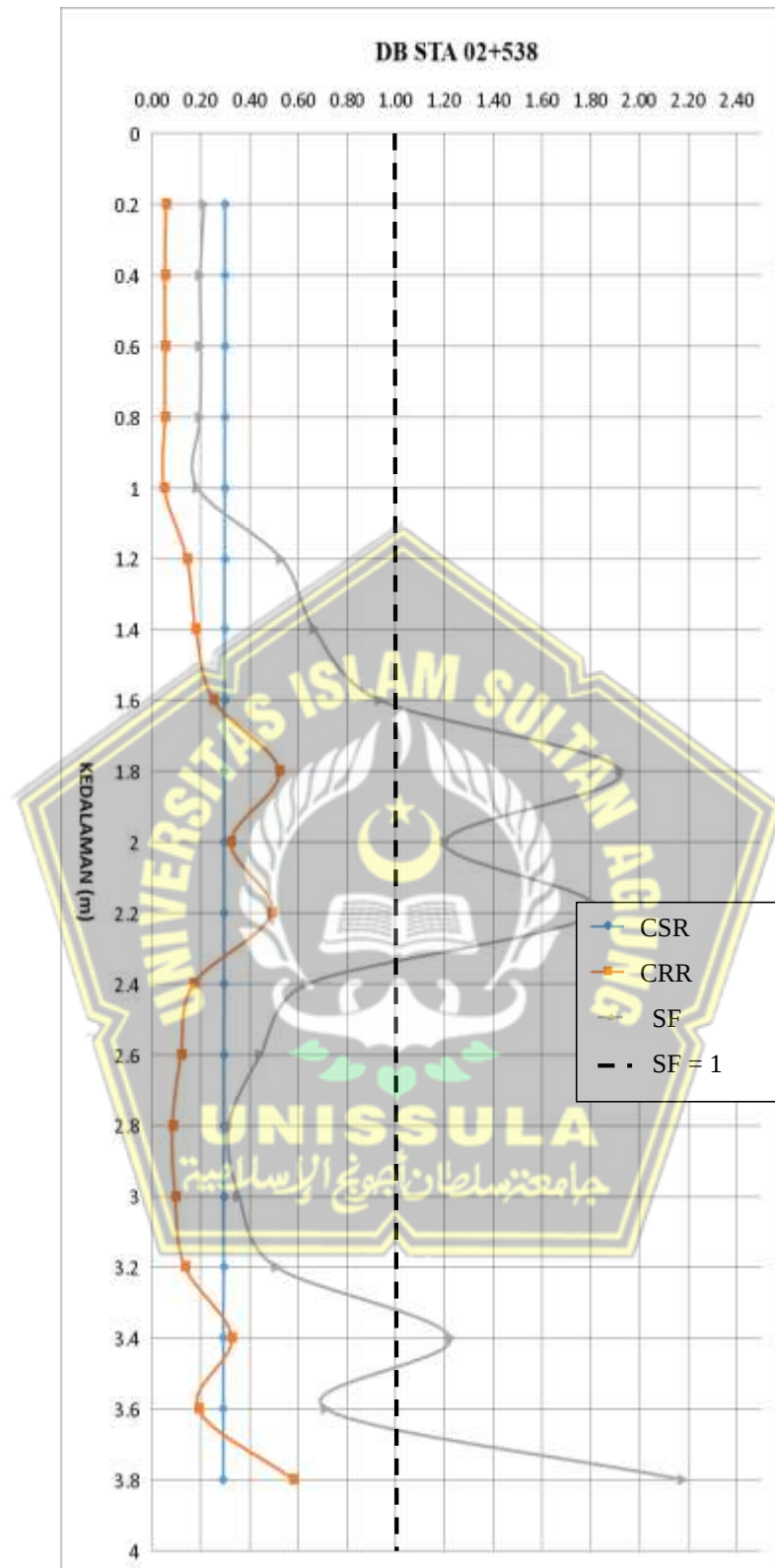
Gambar 4. 2 Grafik CSR, CRR dan SF di DB sta 00+616 A

Sumber : Hasil olahan data penulis



Gambar 4. 3 Grafik CSR, CRR dan SF di DB sta 01+116

Sumber : Hasil olahan data penulis



Gambar 4. 4 Grafik CSR, CRR dan SF di DB sta 02+538

Sumber : Hasil olahan data penulis

yang dipengaruhi oleh *fines content* itu sendiri. Dari analisis diperoleh nilai CRR untuk digunakan memperoleh nilai SF (S) yaitu dengan cara membagi antara CRR dengan CSR. Rumus dapat di formulasikan pada (2.25).

Dan rumus-rumus yang lainnya pada metodologi ini untuk nilai $(N1)_{60CS}$. Dari rumus-rumus yang ada di bab 2 dapat mer CRR dari data SPT maka bisa diformulasikan dalam menggunakan *software microsoft excel* pada tabel 4.4, sampai 4. Contoh perhitungan di DB sta 01+116 :

a) Data

- Kedalaman : 1 m	- γ_w :
- N-SPT : 14	- FC :
- γ_{sat} : 18 kN/m ³	- GWL :
- a_{max} : 0,39 g	- Jenis Tanah :

yang dipengaruhi oleh *finest content* itu sendiri. Dari analisis t

yang dipengaruhi oleh *fines content* itu sendiri. Dari analisis diperoleh nilai CRR untuk digunakan memperoleh nilai SF (S) yaitu dengan cara membagi antara CRR dengan CSR. Rumus dapat di formulasikan pada (2.25).

Dan rumus-rumus yang lainnya pada metodologi ini untuk nilai $(N1)_{60CS}$. Dari rumus-rumus yang ada di bab 2 dapat mer CRR dari data SPT maka bisa diformulasikan dalam menggunakan *software microsoft excel* pada tabel 4.4, sampai 4. Contoh perhitungan di DB sta 01+116 :

a) Data

- Kedalaman : 1 m	- γ_w :
- N-SPT : 14	- FC :
- γ_{sat} : 18 kN/m ³	- GWL :
- a_{max} : 0,39 g	- Jenis Tanah :

yang dipengaruhi oleh *fines content* itu sendiri. Dari analisis diperoleh nilai CRR untuk digunakan memperoleh nilai SF (S) yaitu dengan cara membagi antara CRR dengan CSR. Rumus dapat di formulasikan pada (2.25).

Dan rumus-rumus yang lainnya pada metodologi ini untuk nilai $(N_1)_{60CS}$. Dari rumus-rumus yang ada di bab 2 dapat memperoleh CRR dari data SPT maka bisa diformulasikan dalam menggunakan *software microsoft excel* pada tabel 4.4, sampai dengan menggunakan contoh perhitungan di DB sta 01+116 :

a) Data

- Kedalaman : 1 m	- γ_w :
- N-SPT : 14	- FC :
- γ_{sat} : 18 kN/m ³	- GWL :
- a_{max} : 0,39 g	- Jenis Tanah :

yang dipengaruhi oleh *fines content* itu sendiri. Dari analisis diperoleh nilai CRR untuk digunakan memperoleh nilai SF (S) yaitu dengan cara membagi antara CRR dengan CSR. Rumus dapat di formulasikan pada (2.25).

Dan rumus-rumus yang lainnya pada metodologi ini untuk nilai $(N_1)_{60CS}$. Dari rumus-rumus yang ada di bab 2 dapat mer CRR dari data SPT maka bisa diformulasikan dalam menggunakan *software microsoft excel* pada tabel 4.4, sampai 4. Contoh perhitungan di DB sta 01+116 :

a) Data

- Kedalaman : 1 m	- γ_w :
- N-SPT : 14	- FC :
- γ_{sat} : 18 kN/m ³	- GWL :
- a_{max} : 0,39 g	- Jenis Tanah :

yang dipengaruhi oleh *finest content* itu sendiri. Dari analisis t

- yang dipengaruhi oleh *fines content* itu sendiri. Dari analisis diperoleh nilai CRR untuk digunakan memperoleh nilai SF (SF) yaitu dengan cara membagi antara CRR dengan CSR. Rumus dapat di formulasikan pada (2.25).
- Dan rumus-rumus yang lainnya pada metodologi ini untuk nilai $(N_1)_{60CS}$. Dari rumus-rumus yang ada di bab 2 dapat mer CRR dari data SPT maka bisa diformulasikan dalam menggunakan *software microsoft excel* pada tabel 4.4, sampai 4. Contoh perhitungan di DB sta 01+116 :
- a) Data
- | | |
|---|-----------------|
| - Kedalaman : 1 m | - γ_w : |
| - N-SPT : 14 | - FC : |
| - γ_{sat} : 18 kN/m ³ | - GWL : |
| - a_{max} : 0,39 g | - Jenis Tanah : |

yang dipengaruhi oleh *finest content* itu sendiri. Dari analisis t

yang dipengaruhi oleh *fines content* itu sendiri. Dari analisis diperoleh nilai CRR untuk digunakan memperoleh nilai SF (S) yaitu dengan cara membagi antara CRR dengan CSR. Rumus dapat di formulasikan pada (2.25).

Dan rumus-rumus yang lainnya pada metodologi ini untuk nilai $(N_1)_{60CS}$. Dari rumus-rumus yang ada di bab 2 dapat mer CRR dari data SPT maka bisa diformulasikan dalam menggunakan *software microsoft excel* pada tabel 4.4, sampai 4. Contoh perhitungan di DB sta 01+116 :

a) Data

- Kedalaman : 1 m	- γ_w :
- N-SPT : 14	- FC :
- γ_{sat} : 18 kN/m ³	- GWL :
- a_{max} : 0,39 g	- Jenis Tanah :

yang dipengaruhi oleh *finest content* itu sendiri. Dari analisis t

yang dipengaruhi oleh *fines content* itu sendiri. Dari analisis diperoleh nilai CRR untuk digunakan memperoleh nilai SF (S) yaitu dengan cara membagi antara CRR dengan CSR. Rumus dapat di formulasikan pada (2.25).

Dan rumus-rumus yang lainnya pada metodologi ini untuk nilai $(N1)_{60CS}$. Dari rumus-rumus yang ada di bab 2 dapat mer CRR dari data SPT maka bisa diformulasikan dalam menggunakan *software microsoft excel* pada tabel 4.4, sampai 4. Contoh perhitungan di DB sta 01+116 :

a) Data

- Kedalaman : 1 m	- γ_w :
- N-SPT : 14	- FC :
- γ_{sat} : 18 kN/m ³	- GWL :
- a_{max} : 0,39 g	- Jenis Tanah :

$$= 8 \text{ kN/m}^2$$

d) Reduksi tegangan siklik (rd)

$$\begin{aligned} R_d &= 1,00 - (0,00765 \cdot 1,00) \\ &= 0,99 \end{aligned}$$

e) *Cyclic Stress Ratio* (CSR)

$$\begin{aligned} CSR &= 0,65 \cdot (a_{max}) \cdot \left(\frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \right) \cdot r_d \\ &= 0,65 \cdot \left(\frac{0,39 \text{ g}}{g} \right) \cdot \left(\frac{18}{8} \right) \cdot 1,00 \\ &= 0,57 \end{aligned}$$

f) Faktor Koreksi (N1)₆₀

$$\begin{aligned} CN &= \frac{2,2}{(1,2 + (\frac{\alpha' v_o}{p a}))} \\ &= \frac{2,2}{(1,2 + (\frac{8}{98,066}))} \\ &= 1,72 \end{aligned}$$

$$C_E = 1,115$$

$$C_B = 1$$

$$C_R = 1$$

$$C_S = 1$$

$$\begin{aligned} (N1)_{60} &= N_m \cdot CN \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S \\ &= 14 \cdot 1,72 \cdot 1,115 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \\ &= 26,80 \end{aligned}$$

g) Menentukan (N1)_{60cs}

$$(N1)_{60cs} = (N1)_{60} + \Delta(N1)_{60}$$

$$\begin{aligned} \Delta(N1)_{60} &= \exp(1,63 + (9,7/(F_c + 0,01)) - (15,7/(F_c + 0,01))^2) \\ &= \exp(1,63 + (9,7/(86,5 + 0,01)) - (15,7/(86,5 + 0,01))^2) \\ &= 5,52 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (N1)_{60cs} &= (N1)_{60} + \Delta(N1)_{60} \\ &= 26,80 + 5,52 \\ &= 32,32 \end{aligned}$$

h) *Cyclis Resistance Ratio* (CRR)

$$CRR = \exp\left(\frac{(N1)_{60cs}}{14,1} + \left(\frac{(N1)_{60cs}}{126}\right)^2 - \left(\frac{(N1)_{60cs}}{23,6}\right)^3 + \left(\frac{(N1)_{60cs}}{25,4}\right)^4 - 28\right)$$

$$= \exp\left(\frac{32,32}{14,1} + \left(\frac{32,32}{126}\right)^2 - \left(\frac{32,32}{23,6}\right)^3 + \left(\frac{32,32}{25,4}\right)^4 - 28\right)$$

$$= 0,68$$

i) *Safety Factor (SF)*

$$SF = CRR \cdot \left(\frac{MSFM}{CSR}\right)$$

$$= 0,68 \cdot \left(\frac{1,1}{0,57}\right)$$

= 1,32 > 1 maka tidak berpotensi likuifaksi

Depth (m)	N-SPT	Jenis	fc %	σv	σ'v	Rd	(N1)60	Δ(N1)60	(N1)60cs	MSFM=7	CSR	CRR	FS	KET.
1	40	slit	59.6	22	12	0.99	74.20	5.60	79.80	1.1	-	-	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi
2	40	slit	59.6	44	24	0.98	67.92	5.60	73.52	1.1	-	-	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi
3	12	slit	59.6	62	36	0.98	18.78	5.60	24.39	1.1	0.43	0.28	0.71	Berpotensi Likuifaksi
4	12	slit	70.84	80	48	0.97	17.42	5.57	23.00	1.1	0.41	0.25	0.67	Berpotensi Likuifaksi
5	12	sand	70.84	98	60	0.96	16.25	5.57	21.82	1.1	0.40	0.23	0.64	Berpotensi Likuifaksi
6	27	sand	70.84	117	73	0.95	34.06	5.57	39.63	1.1	0.39	-	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi
7	27	sand	70.84	136	86	0.95	31.89	5.57	37.46	1.1	0.38	-	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi
8	23	silt	70.84	155	99	0.94	25.53	5.57	31.11	1.1	0.37	0.56	1.66	Tidak Berpotensi Likuifaksi
9	45	silt	70.84	177	115	0.93	46.52	5.57	52.10	1.1	-	-	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi
10	45	sand	90.76	199	131	0.91	43.53	5.51	49.04	1.1	-	-	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi
11	35	sand	90.76	221	147	0.88	31.81	5.51	37.32	1.1	0.34	-	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi
12	35	sand	90.76	243	163	0.85	30.00	5.51	35.51	1.1	0.32	-	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi

Depth (m)	N-SPT	Jenis	fc %	σ_v	σ'_v	Rd	(N1)60	$\Delta(N1)60$	(N1)60cs	MSFM=7	CSR	CRR	FS	KET.
13	33	sand	90.76	265	179	0.83	26.76	5.51	32.27	1.1	0.31	0.67	2.38	Tidak Berpotensi Likuifaksi
14	33	sand	90.76	287	195	0.80	25.39	5.51	30.90	1.1	0.30	0.55	2.02	Tidak Berpotensi Likuifaksi
15	30	silt	90.76	309	211	0.77	21.96	5.51	27.47	1.1	0.29	0.36	1.39	Tidak Berpotensi Likuifaksi
16	30	sand	57.4	331	227	0.75	20.94	5.61	26.55	1.1	0.28	0.33	1.32	Tidak Berpotensi Likuifaksi
17	26	sand	57.4	352	242	0.72	17.39	5.61	23.00	1.1	0.27	0.25	1.03	Tidak Berpotensi Likuifaksi
18	26	sand	57.4	373	257	0.69	16.69	5.61	22.30	1.1	0.26	0.24	1.03	Tidak Berpotensi Likuifaksi
19	26	sand	57.4	394	272	0.67	16.05	5.61	21.66	1.1	0.24	0.23	1.02	Tidak Berpotensi Likuifaksi
20	23	sand	57.4	415	287	0.64	13.67	5.61	19.28	1.1	0.23	0.20	0.93	Berpotensi Likuifaksi

Table 4. 4 Hasil Perhitungan *Safety Factor* (SF) di DB sta 00+616 A

Sumber : Hasil olahan data penulis

Depth (m)	N-SPT	jenis	fc %	σ_v	σ'_v	Rd	(N1)60	$\Delta(N1)60$	(N1)60cs	MSFM=7	CSR	CRR	FS	KET.
1	14	Silt	86.5	18	8	0.99	26.80	5.52	32.32	1.1	0.57	0.68	1.32	Tidak Berpotensi Likuifaksi
2	14	Sand	86.5	36	16	0.98	25.19	5.52	30.72	1.1	0.56	0.53	1.05	Tidak Berpotensi Likuifaksi
3	14	Sand	86.5	54	24	0.98	23.77	5.52	29.29	1.1	0.56	0.44	0.88	Berpotensi Likuifaksi
4	24	Sand	86.5	74	34	0.97	38.06	5.52	43.59	1.1	0.53	-	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi
5	24	Sand	86.5	94	44	0.96	35.71	5.52	41.23	1.1	0.52	-	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi

Depth (m)	N-SPT	jenis	fc %	σ_v	σ'_v	Rd	(N1)60	$\Delta(N1)60$	(N1)60cs	MSFM=7	CSR	CRR	FS	KET.
6	18	Sand	86.5	112	52	0.95	25.52	5.52	31.04	1.1	0.52	0.56	1.18	Tidak Berpotensi Likuifaksi
7	13	Sand	86.5	130	60	0.95	17.60	5.52	23.12	1.1	0.52	0.25	0.53	Berpotensi Likuifaksi
8	13	Sand	86.5	148	68	0.94	16.84	5.52	22.37	1.1	0.52	0.24	0.51	Berpotensi Likuifaksi
9	13	Sand	39.66	166	76	0.93	16.15	5.57	21.72	1.1	0.52	0.23	0.49	Berpotensi Likuifaksi
10	23	Sand	39.66	186	86	0.91	27.16	5.57	32.74	1.1	0.50	0.73	1.61	Tidak Berpotensi Likuifaksi
11	23	Sand	39.66	206	96	0.88	25.89	5.57	31.47	1.1	0.48	0.59	1.36	Tidak Berpotensi Likuifaksi
12	23	Sand	39.66	226	106	0.85	24.74	5.57	30.31	1.1	0.46	0.50	1.20	Tidak Berpotensi Likuifaksi
13	28	Sand	39.66	247	117	0.83	28.70	5.57	34.27	1.1	0.44	-	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi
14	28	Sand	39.66	268	128	0.80	27.42	5.57	32.99	1.1	0.42	0.76	1.96	Tidak Berpotensi Likuifaksi
15	31	Sand	39.66	290	140	0.77	28.94	5.57	34.51	1.1	0.41	-	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi
16	31	Sand	3.44	312	152	0.75	27.65	0.00	27.65	1.1	0.39	0.37	1.05	Tidak Berpotensi Likuifaksi
17	20	Sand	3.44	330	160	0.72	17.33	0.00	17.33	1.1	0.38	0.18	0.52	Berpotensi Likuifaksi
18	20	Sand	3.44	348	168	0.69	16.84	0.00	16.84	1.1	0.36	0.17	0.52	Berpotensi Likuifaksi
19	16	Silt	90.86	366	176	0.67	13.11	5.51	18.62	1.1	0.35	0.19	0.60	Berpotensi Likuifaksi
20	16	Silt	90.86	384	184	0.64	12.76	5.51	18.27	1.1	0.34	0.19	0.61	Berpotensi Likuifaksi

Table 4. 5 Hasil Perhitungan *Safety Factor* (SF) di DB sta 01+116

Sumber : Hasil olahan data penulis

Depth (m)	N- SPT	jenis	fc %	σ_v	σ'_v	Rd	(N1)60	$\Delta(N1)60$	(N1)60cs	MSFM=7	CSR	CRR	FS	KET.
1	10	Sand	12.60	18	8	0.99	19.14	2.34	21.48	1.1	0.57	0.23	0.44	Berpotensi Likuifaksi
2	10	Sand	12.60	36	16	0.98	18.00	2.34	20.33	1.1	0.56	0.21	0.41	Berpotensi Likuifaksi
3	12	Sand	9.92	54	24	0.98	20.37	1.11	21.49	1.1	0.56	0.23	0.45	Berpotensi Likuifaksi
4	12	Sand	9.92	72	32	0.97	19.29	1.11	20.40	1.1	0.55	0.21	0.42	Berpotensi Likuifaksi
5	16	Sand	9.92	90	40	0.96	24.41	1.11	25.52	1.1	0.55	0.30	0.61	Berpotensi Likuifaksi
6	16	Sand	9.92	108	48	0.95	23.23	1.11	24.34	1.1	0.54	0.28	0.56	Berpotensi Likuifaksi
7	16	Sand	9.92	126	56	0.95	22.16	1.11	23.27	1.1	0.54	0.25	0.52	Berpotensi Likuifaksi
8	3	Sand	7.48	140	60	0.94	4.06	0.23	4.29	1.1	0.56	0.08	0.16	Berpotensi Likuifaksi
9	13	Sand	7.48	158	68	0.93	16.84	0.23	17.07	1.1	0.55	0.17	0.35	Berpotensi Likuifaksi
10	13	Sand	7.48	176	76	0.91	16.15	0.23	16.38	1.1	0.53	0.17	0.35	Berpotensi Likuifaksi
11	13	clay	87.04	194	84	0.88	15.51	5.52	21.03	1.1	0.52	0.22	0.47	Berpotensi Likuifaksi
12	100	sand	87.04	216	96	0.85	112.58	5.52	118.10	1.1	-	-	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi
13	19	sand	87.04	234	104	0.83	20.62	5.52	26.14	1.1	0.47	0.32	0.75	Berpotensi Likuifaksi
14	19	sand	87.04	252	112	0.80	19.90	5.52	25.42	1.1	0.46	0.30	0.72	Berpotensi Likuifaksi

Depth (m)	N-SPT	jenis	fc %	σ_v	σ'_v	Rd	(N1)60	$\Delta(N1)60$	(N1)60cs	MSFM=7	CSR	CRR	FS	KET.
15	19	sand	87.04	270	120	0.77	19.23	5.52	24.75	1.1	0.44	0.28	0.71	Berpotensi Likuifaksi
16	14	sand	37.6	288	128	0.75	13.71	5.55	19.26	1.1	0.43	0.20	0.51	Berpotensi Likuifaksi
17	100	andesite	37.6	310	140	0.72	93.35	5.55	98.90	1.1	-	-	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi
18	100	andesite	37.6	332	152	0.69	89.20	5.55	94.75	1.1	-	-	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi
19	100	Sand	37.6	354	164	0.67	85.40	5.55	90.95	1.1	-	-	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi
20	22	Sand	89.46	374	174	0.64	18.14	5.52	23.66	1.1	0.35	0.26	0.82	Berpotensi Likuifaksi

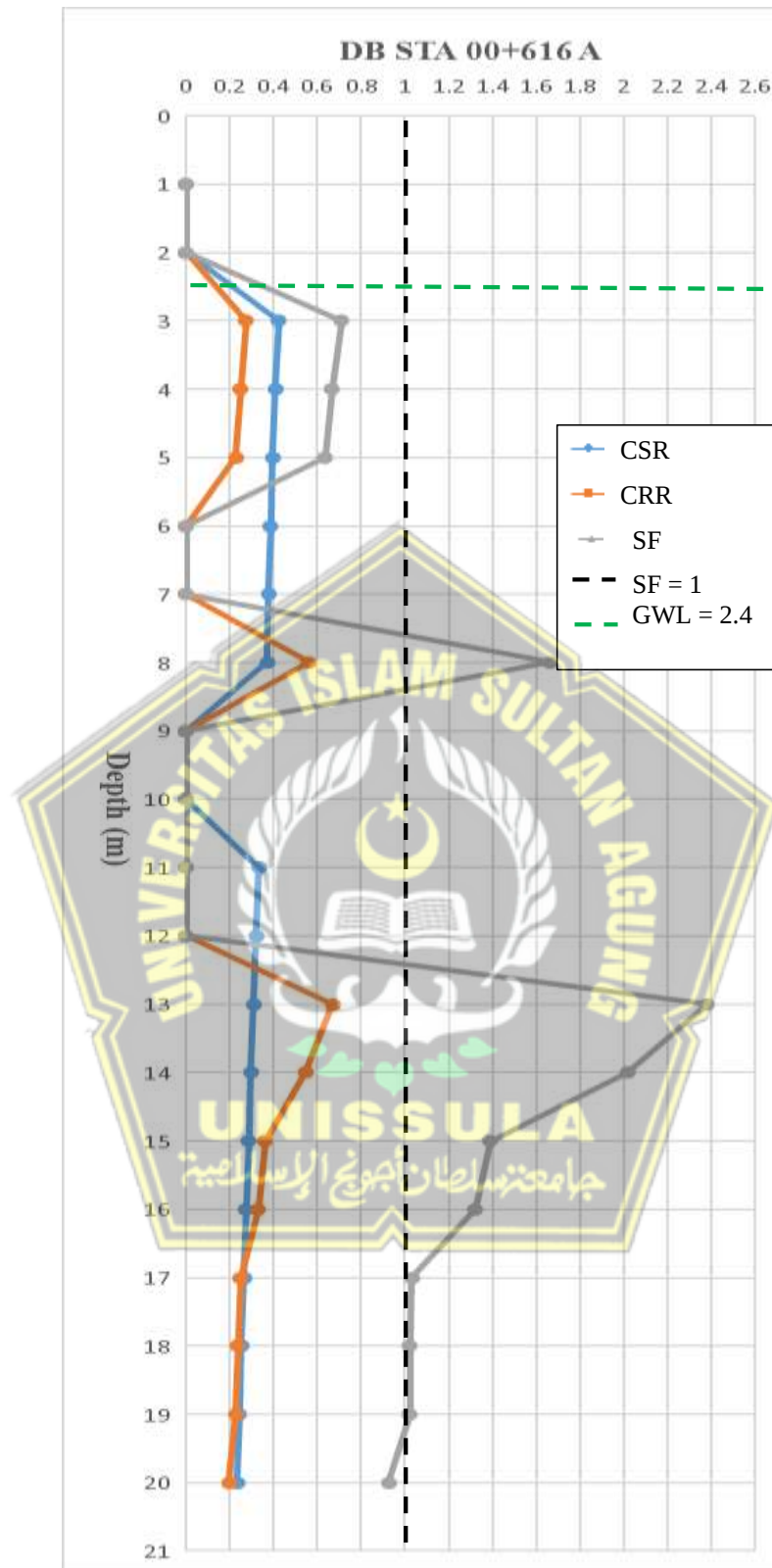
Table 4. 6 Hasil Perhitungan *Safety Factor* (SF) di DB sta 02+538

Sumber : Hasil olahan data penulis

4.2.1 Hasil pengolahan data

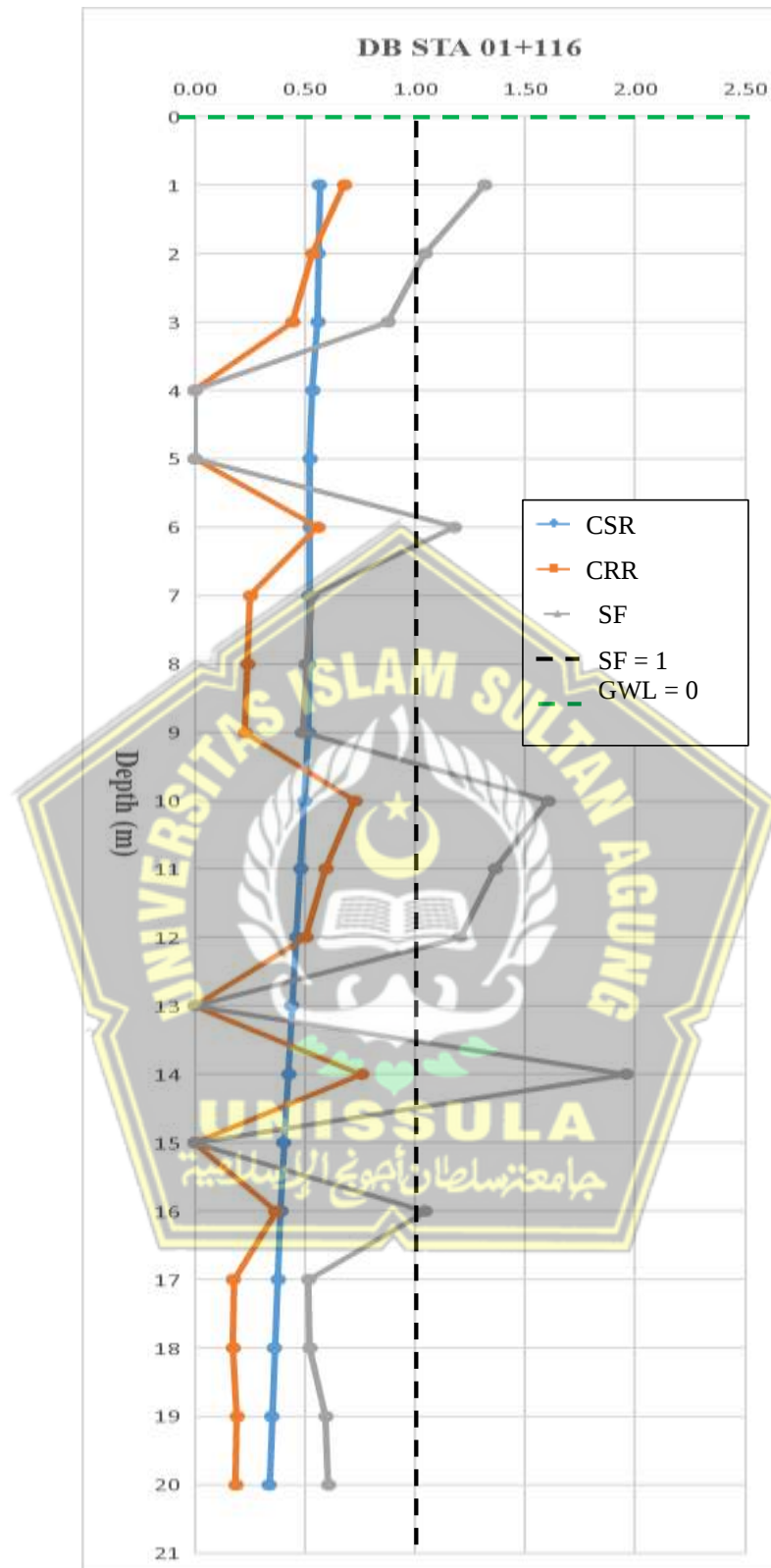
4.2.1.1 Grafik CSR, CRR, dan SF

Data dari boring log pada proyek Jalan tol Solo-Yogyakarta yang akan dikaji adalah sebanyak 3 titik dimana maksimal kedalaman sampai 20 meter yang akan disajikan dalam grafik CSR, CRR, dan SF. Berikut ini adalah grafik-grafik dari 3 titik dengan kedalaman sampai 20 meter yang telah dihitung dalam *software microsoft excel* pada grafik 4.5 sampai 4.7.



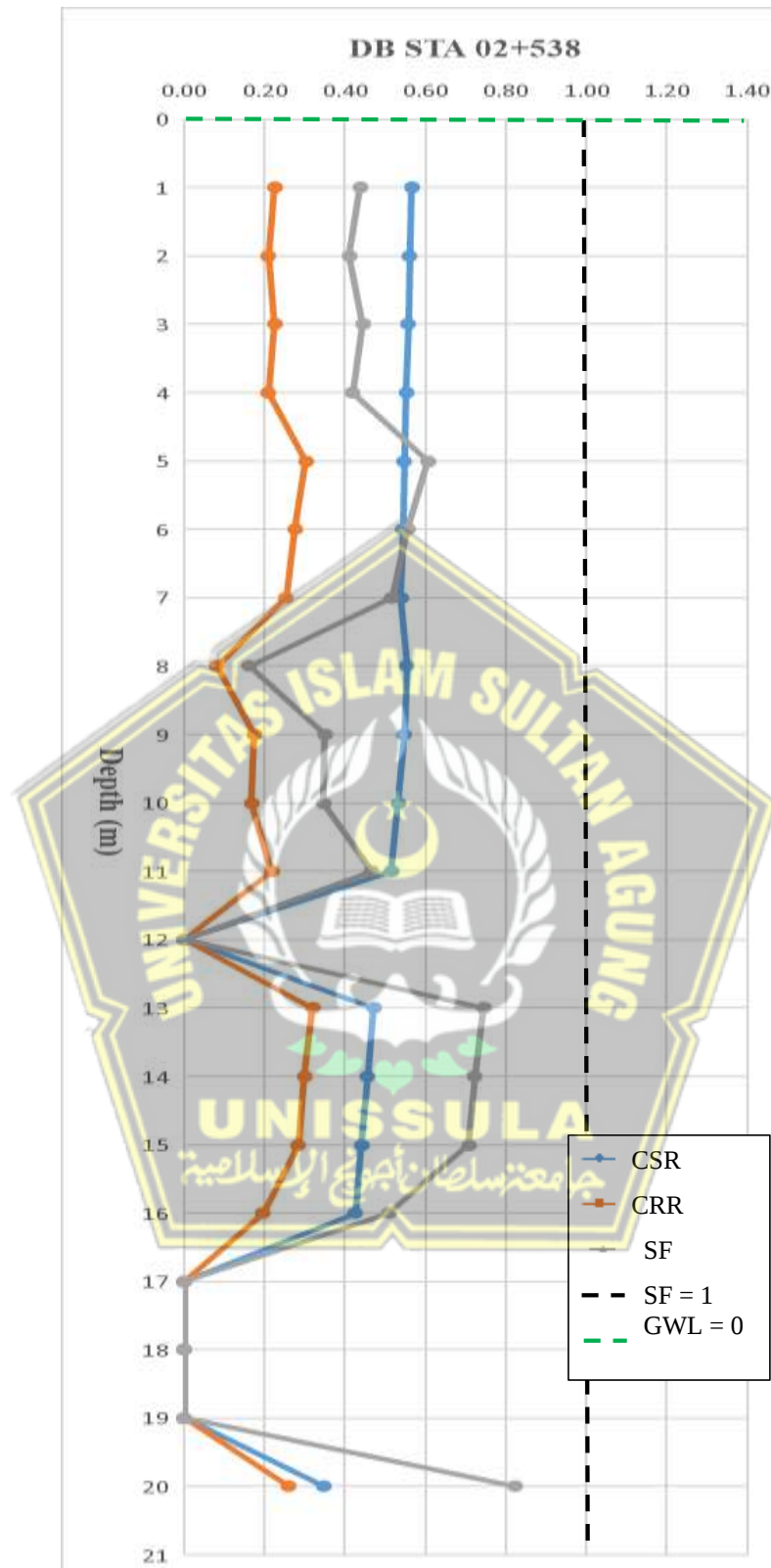
Gambar 4. 5 Grafik CSR, CRR dan SF di DB sta 00+616 A

Sumber : Hasil olahan data penulis



Gambar 4. 6 Grafik CSR, CRR dan SF di DB sta 01+116

Sumber : Hasil olahan data penulis



Gambar 4. 7 Grafik CSR, CRR dan SF di DB sta 02+538

Sumber : Hasil olahan data penulis

Dari grafik di ketiga titik diatas maka bisa dianalisis di masing-masing titik akan dibahas sebagai berikut. Di grafik diatas garis hitam lurus kebawah menunjukkan garis berada di satu titik yang sama dengan satu. Jika grafik SF itu memiliki garis disebalah kiri maka dapat dikatakan bahwa kondisi tersebut rentan terhadap adanya potensi likuifaksi, tetapi jika garis disebalah kanan garis hitam maka bisa dikatakan bahwa titik tersebut mempunyai ketahanan terhadap likuifaksi.

Jika dilihat dari ketiga grafik data SPT diatas bisa diketahui bahwa ketiga titik tersebut terjadi potensi likuifaksi, karena garis SF dari ketiga grafik di sebelah kiri, sehingga bisa dikatakan bahwa dari ke tiga titik tersebut mengalami adanya potensi likuifaksi

Jika dilihat dari ketiga grafik diatas yang sangat rentan terhadap adanya potensi likuifaksi yaitu di titik DB sta 02+538. Karena kebanyakan garis di grafik tersebut di sebelah kiri garis hitam. Sehingga sangat rentan akan terjadinya potensi likuifaksi karena kurang dari satu. Diketahui dengan percepatan gempa (a_{max}) 0,39 g didapatkan hanya 1 titik yang sangat rentang terjadinya potensi likuifaksi.

Hal tersebut terjadi karena nilai $(N1)_{60cs}$ dikedalaman tersebut cukup kecil (<34) dan juga dengan nilai *finer content* yang menyebabkan kondisi plastisitas tanah kecil. Sedangkan untuk kedua titik tersebut memiliki ketahanan terhadap adanya potensi likuifaksi dikarenakan mempunyai gradasi butiran yang cukup baik.

4.3 Perhitungan *Liquefaction Potential Index*

Di perhitungan *liquefaction potential index* menggunakan data CPT dan SPT ini untuk mengevaluasi potensi likuifaksi regional. Menurut Iwasaki et al. ditahun 1982 terbagi menjadi beberapa kategori. Mulai dari *Very Low* sampai ke *Very High*.

Untuk perhitungan LPI sendiri menggunakan formulasi pada (2.26). Dimana z adalah kedalaman titik tengah lapisan tanah (0 hingga 20 m) dan dz adalah selisih kenaikan kedalaman. faktor bobot $w(z)$, dan faktor keparahan $F(z)$.

4.3.1 Perhitungan *Liquefaction Potential Index* CPT

Untuk perhitungan *liquefaction potential index* bisa dihitung dengan rumus diatas dan bisa diformulasikan dengan menggunakan *software microsoft excel* bisa dilihat pada tabel 4.7 sampai 4.9

Contoh Perhitungsn LPI di DB sta 00+616 A :

a) Data

- z : 3 m
- SF : 0,23

b) Menghitung Nilai $F(z)$

- $F(z) = 1 - SF$
 $= 1 - 0,23$
 $= 0,77$

c) Menghitung Nilai $w(z)$

- $w(z) = 10 - (0,5 \cdot z)$
 $= 10 - (0,5 \cdot 3)$
 $= 8,5$

d) Menghitung Nilai LPI

- $LPI = \int_0^{20} F(z) \cdot w(z)$
 $= \int_0^{20} 0,56 \cdot 8,5$
 $= 6,56$

e) Menghitung Total Nilai LPI

- $\Sigma LPI = LPI \text{ kedalaman } 0,4 \text{ dijumlah sampai kedalaman } 5,2$
 $= 132,68$

F(z)	w(z)	LPI	Total	Kategori
0.72	9.8	7.05	132.68	Very High
0.66	9.7	6.42		
0.43	9.6	4.13		
0.46	9.5	4.36		
0	9.4	0		
0.69	9.3	6.38		
0.73	9.2	6.74		
0.71	9.1	6.42		
0.67	9	6.07		
0.76	8.9	6.72		
0.76	8.8	6.70		
0.78	8.7	6.74		
0.77	8.6	6.60		
0.77	8.5	6.56		
0.79	8.4	6.65		
0.82	8.3	6.79		
0.83	8.2	6.84		
0.83	8.1	6.72		
0.79	8	6.34		
0.79	7.9	6.25		
0.78	7.8	6.09		
0.79	7.7	6.10		
0	7.6	0		
0	7.5	0		
0	7.4	0		

Table 4. 7 Hasil Perhitungan *Liquefaction Potential Index* di DB sta 00+616 A

Sumber : Hasil olahan data penulis

F(z)	w(z)	LPI	Total	Kategori
0.67	9.9	6.67	158.69	Very High
0.47	9.8	4.58		
0.30	9.7	2.93		
0.64	9.6	6.15		
0.73	9.5	6.93		
0	9.4	0		
0.75	9.3	7.01		
0.70	9.2	6.42		
0.68	9.1	6.16		
0.56	9	5.04		
0.54	8.9	4.77		
0.37	8.8	3.23		
0.46	8.7	3.97		
0.66	8.6	5.69		
0.22	8.5	1.89		
0	8.4	0		
0.71	8.3	5.86		
0.81	8.2	6.60		
0.80	8.1	6.47		
0.79	8	6.30		
0.78	7.9	6.13		
0.74	7.8	5.80		
0.68	7.7	5.26		
0.68	7.6	5.14		
0.68	7.5	5.12		
0.69	7.4	5.08		
0.81	7.3	5.91		
0.74	7.2	5.36		
0.75	7.1	5.30		
0.71	7	4.99		
0.59	6.9	4.04		
0.38	6.8	2.58		
0.19	6.7	1.31		
0	6.6	0		

Table 4. 11 Hasil Perhitungan *Liquefaction Potential Index* di DB sta 01+116

Sumber : Hasil olahan data penulis

F(z)	w(z)	LPI	Total	Kategori
0.79	9.9	7.79	72.79	Very High
0.80	9.8	7.86		
0.80	9.7	7.75		
0.80	9.6	7.71		
0.81	9.5	7.72		
0.47	9.4	4.41		
0.33	9.3	3.10		
0.06	9.2	0.60		
0	9.1	0		
0	9	0		
0	8.9	0		
0.36	8.8	3.19		
0.55	8.7	4.83		
0.69	8.6	5.89		
0.64	8.5	5.47		
0.49	8.4	4.11		
0	8.3	0		
0.29	8.2	2.35		
0	8.1	0		

Table 4. 9 Hasil Perhitungan *Liquefaction Potential Index* di DB sta 02+538

Sumber : Hasil olahan data penulis

Dari ketiga tabel total dari *liquefaction potential index* termasuk ke dalam kategori *very high*. Kategori *very high* itu diartikan menurut iwasaki et al di tahun 1982 itu LPI (*liquefaction potential index*) lebih dari 15. Itu semua karena disebabkan dari faktor keamanan dan juga dari faktor keparahandapat dilihat pada tabel 4.10 .

LPI	Iwasaki et al. (1982)	Luna and Frost (1998)	MERM (2003)
LPI = 0	Very low	Little to none	None
0 < LPI < 5	Low	Minor	Low
5 < LPI < 15	High	Moderate	Medium
15 < LPI	Very high	Major	High

Table 4. 10 Tingkat keparahan LPI

Sumber : Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 2759–2768, 2012

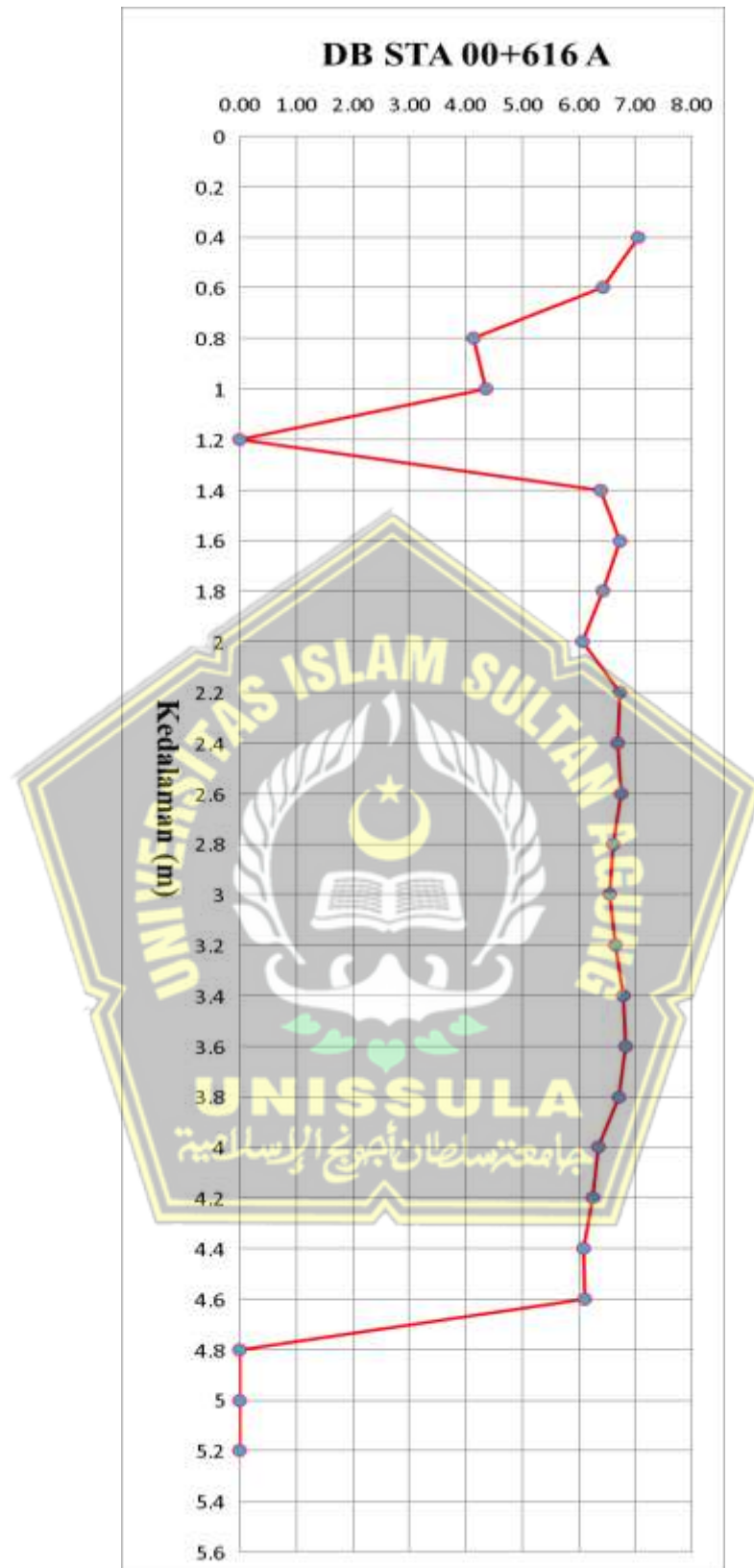
Jika dilihat dari ketiga tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai *liquefaction potential index* terbesar terdapat di satu titik yaitu di titik db

sta 01+116. Itu terjadi karena disebabkan dari faktor keparahan dari potensi likuifaksi dan juga dari faktor kemananan yang kurang dari satu.

4.3.1.1 Grafik LPI

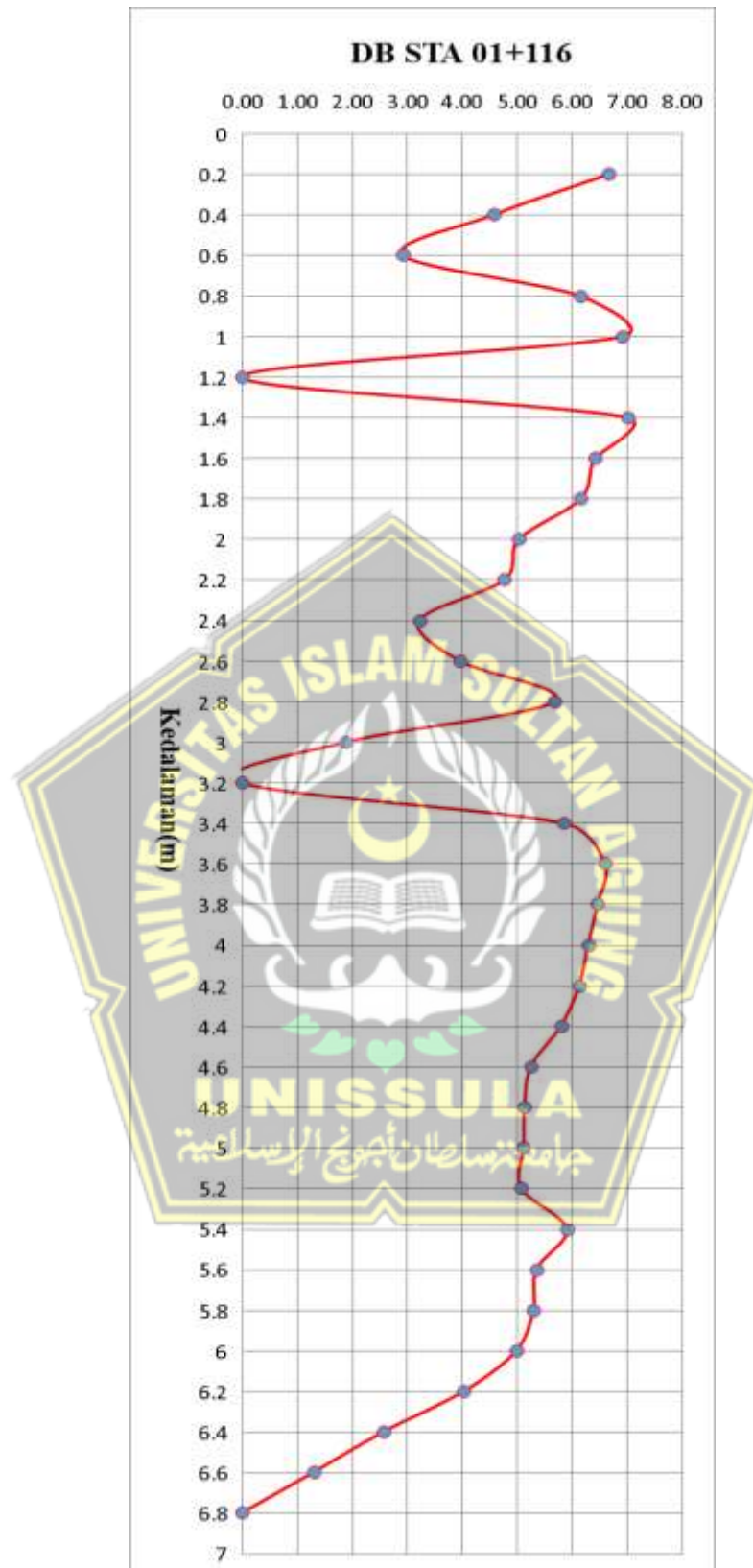
Grafik LPI bisa dilihat pada gambar 4.8 sampai 4.10





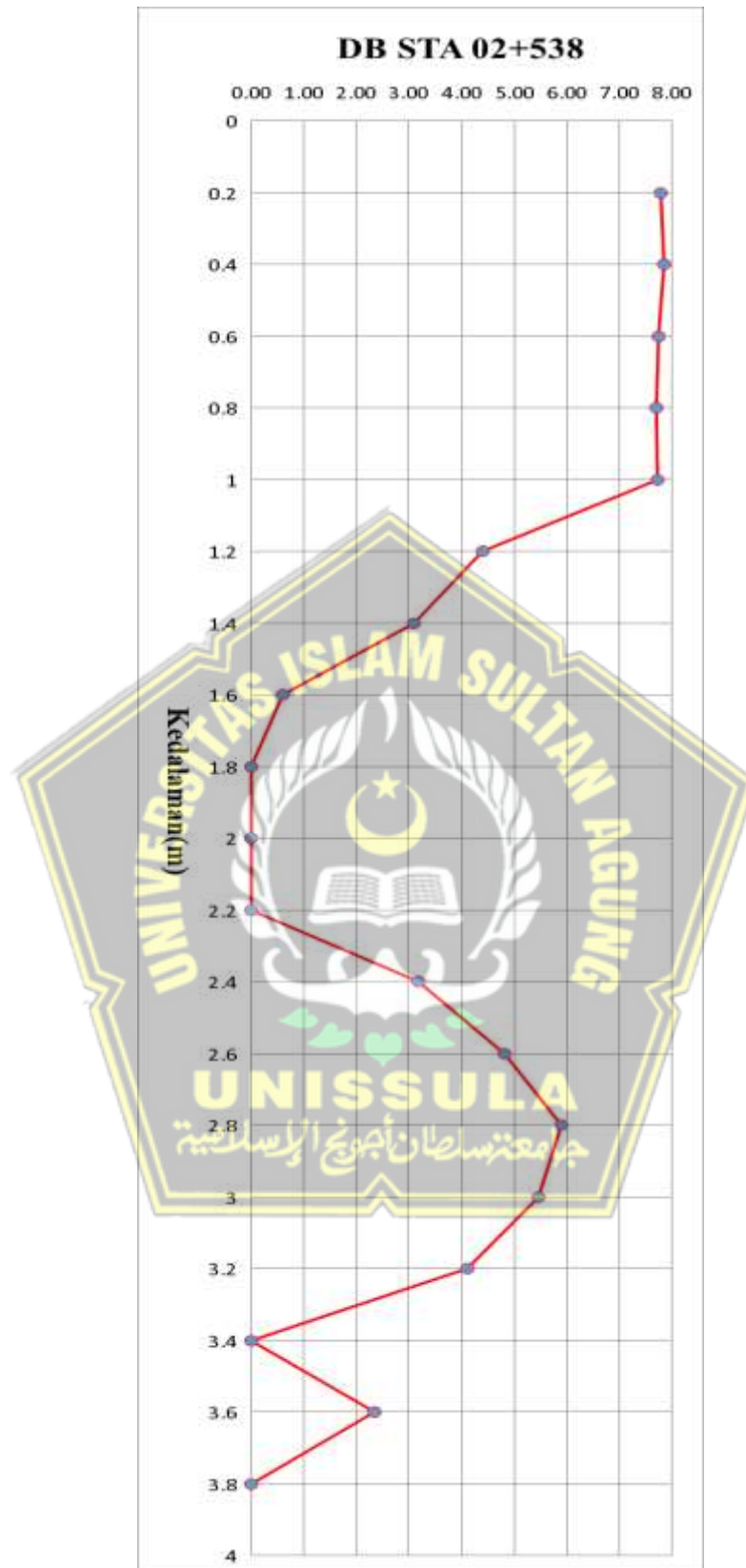
Gambar 4. 8 Grafik *Liquefaction Potential Index* di DB sta 00+616 A

Sumber : Hasil olahan data penulis



Gambar 4. 9 Grafik *Liquefaction Potential Index* di DB sta 01+116

Sumber : Hasil olahan data penulis



Gambar 4. 10 Grafik *Liquefaction Potential Index* di DB sta 01+116

Sumber : Hasil olahan data penulis

4.3.2 Perhitungan *Liquefaction Potential Index* SPT

Untuk perhitungan *liquefaction potential index* bisa dihitung dengan rumus diatas dan bisa diformulasikan dengan menggunakan *software microsoft excel* bisa dilihat pada tabel 4.10 sampai 4.12

Contoh Perhitungan LPI di DB sta 00+616 A :

a) Data

- z : 3,0 m
- SF : 0,71

b) Menghitung Nilai $F(z)$

- $F(z) = 1 - SF$
 $= 1 - 0,71$
 $= 0,29$

c) Menghitung Nilai $w(z)$

- $w(z) = 10 - (0,5 \cdot z)$
 $= 10 - (0,5 \cdot 3)$
 $= 8,5$

d) Menghitung Nilai LPI

- $LPI = \int_0^{20} F(z) \cdot w(z)$
 $= \int_0^{20} 0,29 \cdot 8,5$
 $= 2,45$

e) Menghitung Total Nilai LPI

- $\Sigma LPI = LPI \text{ kedalaman } 1 \text{ dijumlah sampai kedalaman } 20$
 $= 7,82$

F(z)	w(z)	LPI	Total	Kategori
-	9.5	-	7.82	High
-	9	-		
0.29	8.5	2.45		
0.33	8	2.64		
0.36	7.5	2.73		
-	7	-		
-	6.5	-		
-	6	-		
-	5.5	-		
-	5	-		
-	4.5	-		
-	4	-		
-	3.5	-		
-	3	-		
0	2.5	0		
0	2	0		
0	1.5	0		
0	1	0		
0	0.5	0		
0.07	0	0		

Table 4. 11 Hasil Perhitungan *Liquefaction Potential Index* di DB sta 00+616 A

Sumber : Hasil olahan data penulis

F(z)	w(z)	LPI	Total	Kategori
0	9.5	0	11.27	High
0	9	0		
0.12	8.5	1.05		
-	8	-		
-	7.5	-		
0	7	0		
0.47	6.5	3.04		
0.49	6	2.96		
0.51	5.5	2.81		
0	5	0		
0	4.5	0		
0	4	0		
0	3.5	0		
0	3	0		
0	2.5	0		
0	2	0		
0.48	1.5	0.72		
0.48	1	0.48		
0.40	0.5	0.20		
0.39	0	0		

Table 4. 12 Hasil Perhitungan *Liquefaction Potential Index* di DB sta 01+116

Sumber : Hasil olahan data penulis

F(z)	w(z)	LPI	Total	Kategori
0.56	9.5	5.34	46.87	High
0.59	9	5.30		
0.55	8.5	4.72		
0.58	8	4.65		
0.39	7.5	2.94		
0.44	7	3.10		
0.48	6.5	3.13		
0.84	6	5.02		
0.65	5.5	3.57		
0.65	5	3.26		
0.53	4.5	2.40		
-	4	-		
0.25	3.5	0.89		
0.28	3	0.83		
0.29	2.5	0.73		
0.49	2	0.98		
-	1.5	-		
-	1	-		
-	0.5	-		
0.18	0	0		
-	0	-		
-	0	-		
-	0	-		

Table 4. 13 Hasil Perhitungan *Liquefaction Potential Index* di DB sta 02+538

Sumber : Hasil olahan data penulis

Dari ketiga tabel total dari *liquefaction potential index* termasuk ke dalam kategori *high*. Kateogori *high* itu diartikan menurut iwasaki et al di tahun 1982 itu LPI (*liquefaction potential index*) lebih dari 5 dan kurang dari 15. Itu semua karena disebabkan dari faktor keamanan dan juga dari faktor keparahan.

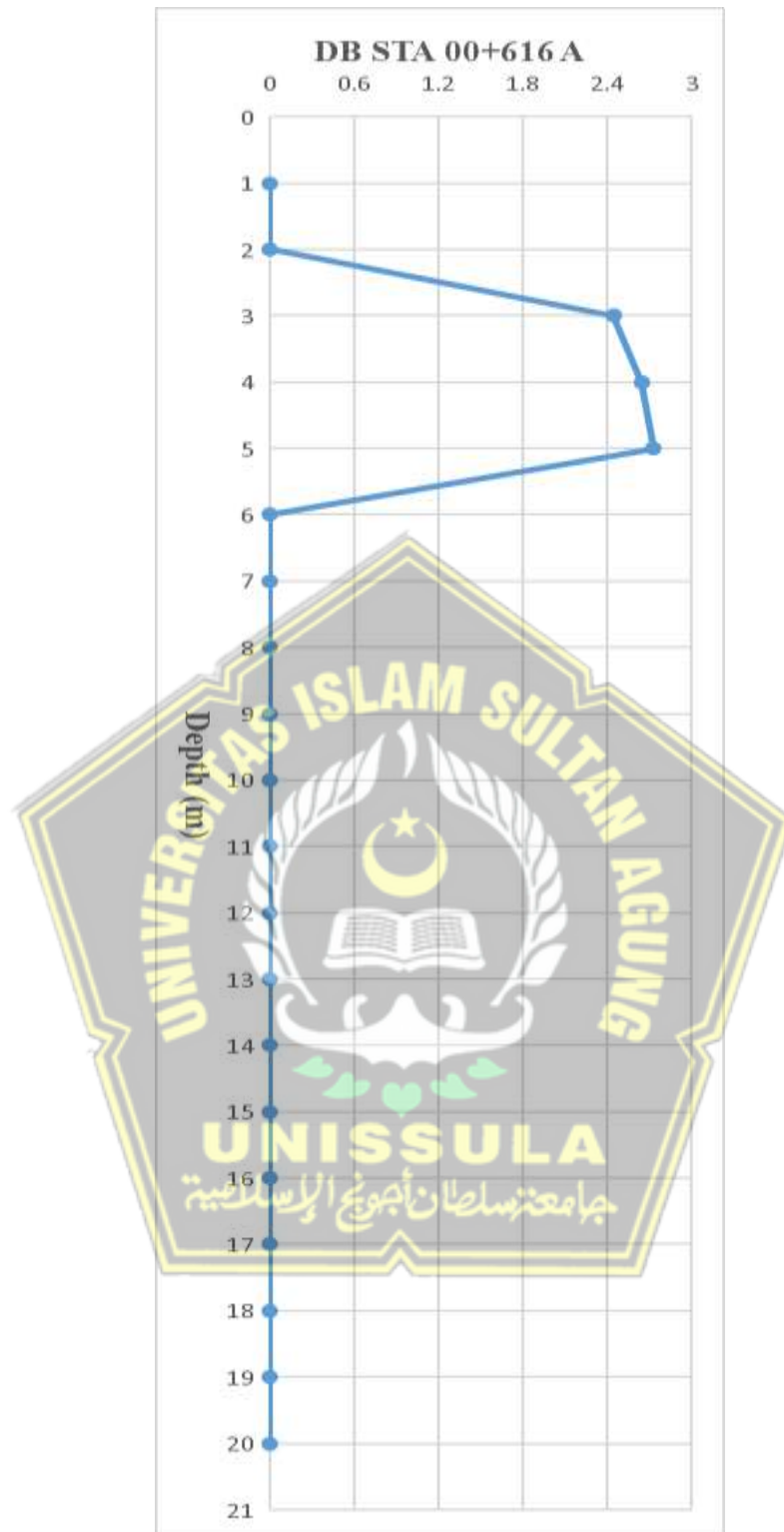
LPI	Iwasaki et al. (1982)	Luna and Frost (1998)	MERM (2003)
$LPI = 0$	Very low	Little to none	None
$0 < LPI < 5$	Low	Minor	Low
$5 < LPI < 15$	High	Moderate	Medium
$15 < LPI$	Very high	Major	High

Jika dilihat dari ketiga tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai *liquefaction potential index* terbesar terdapat di satu titik yaitu di titik db sta 02+538. Itu terjadi karena disebabkan dari faktor keparahan dari potensi likuifaksi dan juga dari faktor kemananan yang kurang dari satu.

4.3.2.1 Grafik LPI

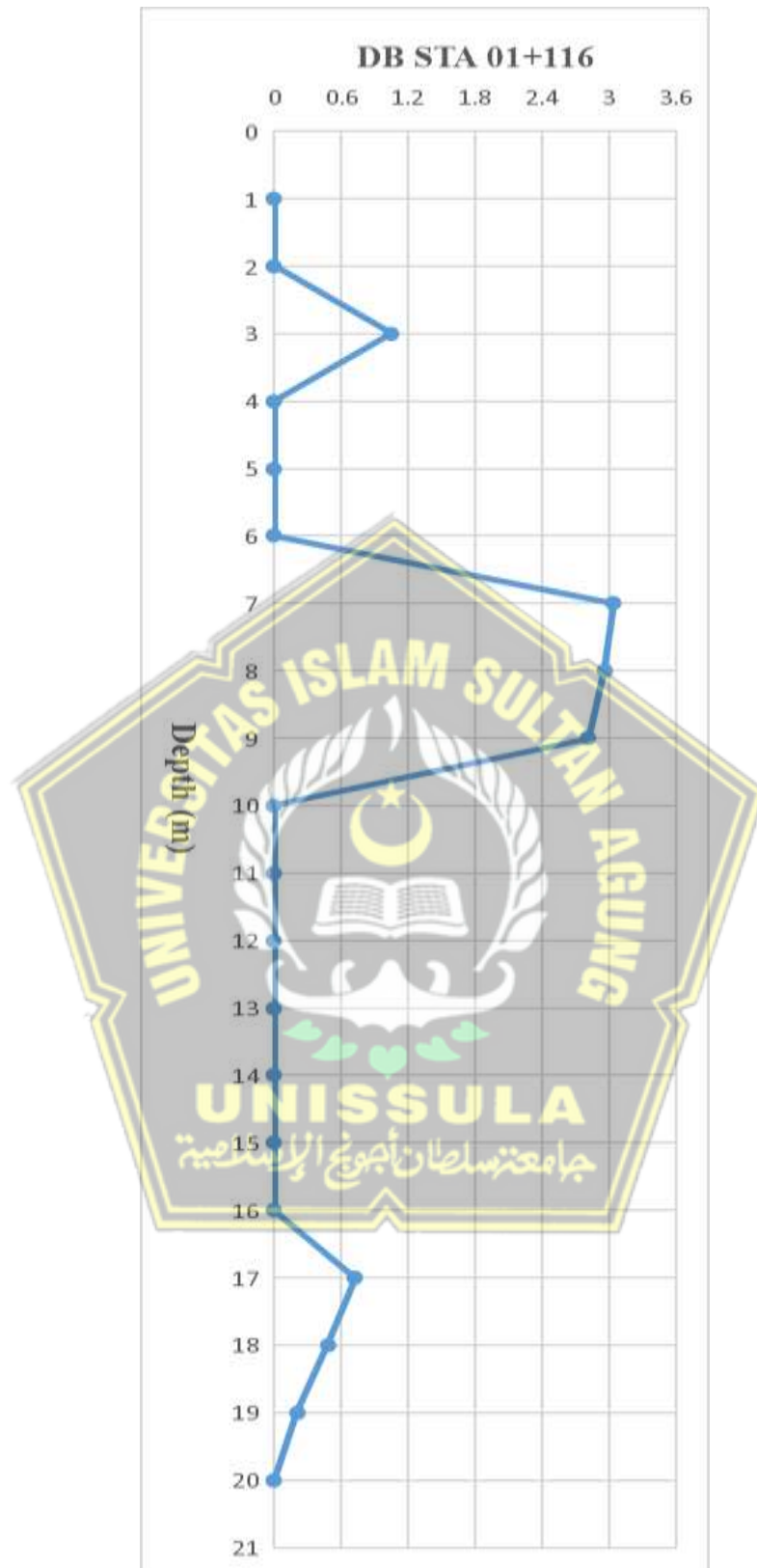
Grafik LPI bisa dilihat pada gambar 4.11 sampai 4.13





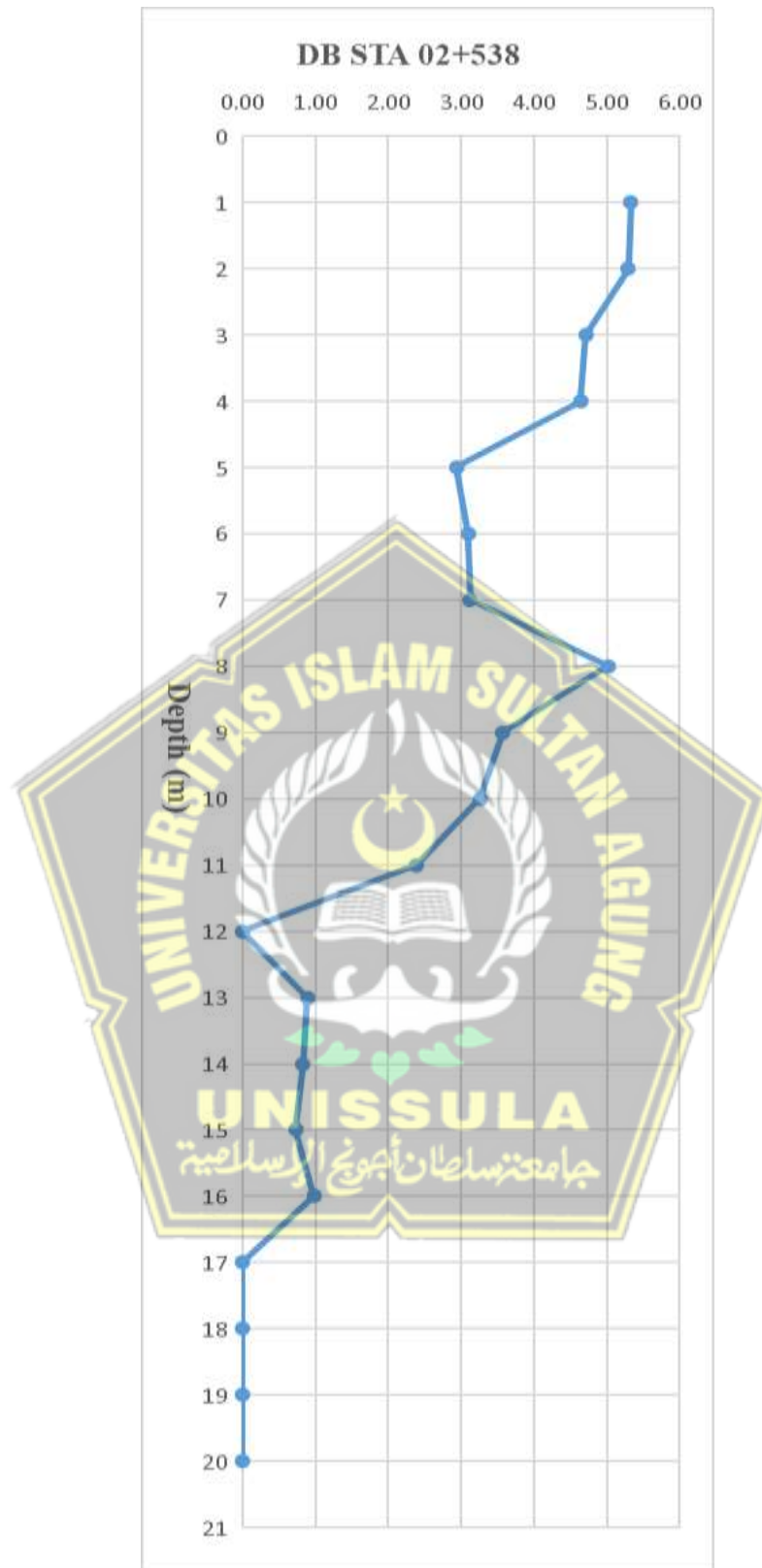
Gambar 4. 11 Grafik *Liquefaction Potential Index* di DB sta 00+616 A

Sumber : Hasil olahan data penulis



Gambar 4. 12 Grafik *Liquefaction Potential Index* di DB sta 01+116

Sumber : Hasil olahan data penulis



Gambar 4. 13 Grafik *Liquefaction Potential Index* di DB sta 02+538

Sumber : Hasil olahan data penulis

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari perhitungan dengan menggunakan data CPT dan SPT pada Proyek Pembangunan Jalan tol Solo-Yogyakarta, maka dapat diambil kesimpulan :

1. Pada proyek pembangunan Jalan tol Solo-Yogyakarta tanah yang mengalami potensi likuifaksi yaitu pada konsentrasi tanah *loose, very loose, medium dense* yang terdapat pada nilai N-SPT yang kurang dari N-spt 25. Sedangkan dari data CPT yaitu dari tanah jenis *sand, silty dan clay* yang tahanan ujung konusnya kurang dari 130.
2. Pada proyek pembangunan Jalan tol Solo-Yogyakarta yang menggunakan data CPT dan SPT mengambil tiga sampel titik yang mempunyai potensi likuifaksi. Rata-rata nilai faktor keamanan yang dihasilkan oleh data CPT mengalami likuifaksi pada kedalaman 1-5 m. Karena disebabkan adanya nilai tahanan ujung konus yang kurang dari 130, sedangkan nilai faktor keamanan yang dihasilkan oleh data SPT mengalami likuifaksi pada kedalaman 1-5 m. Karena disebabkan adanya pengaruh dari nilai $(N1)_{60cs}$ yang kurang dari 34.
3. Hasil total dari perhitungan nilai LPI pada data CPT menggunakan 3 sampel titik yang mempunyai tingkat keparahan pada kategori *very high*. Kategori *very high* terjadi ketika nilai LPI lebih dari 15. Nilai total LPI yang terbesar Dari ketiga sampel titik yang diuji terdapat pada DB sta 01+116. Sedangkan total nilai LPI pada data SPT mempunyai tingkat keparahan pada kategori *high*. Kategori *high* terjadi ketika nilai $LPI\ 5 > LPI < 15$. Dari ketiga titik yang diuji nilai total LPI yang terbesar di DB sta 02+538.

5.2 Saran

Untuk menentukan nilai dari CRR dan SF (*Safety Factor*) dari dua data yang berbeda dan dengan benda uji yang berbeda maka perlu menjadi perhatian khusus untuk hasil output yang sangat berbeda jauh. Dengan perbandingan nilai ini dapat diharapkan bisa mendapatkan sebuah keputusan yang tepat dalam mengasumsikan desain di konstruksi yang akan dibangun di atasnya dengan mengambil nilai yang paling kritis.



DAFTAR PUSTAKA

- Dewaikar, J. Dixit, D. M. and R. S. Jangid. 2012. *Assessment of Liquefaction Poential Index for Mumbai City*. Jurnal Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 2759-2768, 2012
- Hakam, A.(2020). Analisis Praktis Potensi Likuifaksi. Padang: Andalas Press Kampus UNAND - Limau Manis, 25176.
- Hutagalung, Mario and Simon Detha Tarigan. 2019. Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa (Studi Kasus : Reklamasi Pelabuhan Kontainer Belawan Fase-2). Jurnal Rekayas Konstruksi Mekanika Sipil Vol.2 No.1 Maret 2019.
- Idriss, I, M, and W Boulanger. 2008. *Soil liquefaction During Earthquakes*. Earthquake Engineering Research Institute.
- Ikhsan, Rifa. 2011. Analisis Potensi Likuifaksi Dari Data CPT dan SPT dengan Studi Kasus PLTU Ende Nusa Tenggara Timur. Universitas Indonesia. Depok.
- Ishihara, K. 1996. *Behaviour in Earthquake Geotechnics*. Oxford Science Publication.
- Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuko, F., and Yasuda, S.: *A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various sites in Japan*, Proceedings of 2nd International Conference on Microzonation, San Frasisco, 885-896, 1978.
- Kramer S. L. 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, N. J., 653.
- Kumar, Kamalesh. 2008. *Basic Geotechnical Earthquake Engineering*. New Delhi : New Age International (P) Ltd., Publishers
- Luna, R. and Frost, J. D.: *Spatial Liquefaction analysis system*, J. Comput. Civil Eng., 12, 48-56, 1998.
- P. K. Robertson : C E Wride. "Evaluating Cyclic Lliquefaction Potential Using The Cone Penetration Test". Cannadian Geotechnical Journal. Juni 1998.
- R. F. Craig and Budi Susilo. *Mekanika Tanah*. 1991.

- Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982) *Ground Motions and Soil Liquefaction during Earthquakes*. Earthquake Engineering Research Institute Monograph, Oakland
- Tim Penyusun. 2001. SNI 03-1726-2002 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Tohari, A., Sugianti, K., Syahbana, A.J., Soebowo, E., 2015, Kerentanan Likuifaksi Wilayah Kota Banda Aceh berdasarkan Metode Uji Penetrasi Konus, Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan, Vol.25, hlm 100.
- Warouw, Anry Gratio Deo, Fabian J. Manoppo, and Steeva G. Rondonuwu. 2019. Analiss Potensi Likuifaksi Dengan Menggunakan Nilai SPT. Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.11 November 2019.
- Youd, T. L., Idriss, I. M., dkk., 2001. *Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1.Geotechnical and Geoenvironmental Eng.*, ASCE 127(10), 817-33.

