

TUGAS AKHIR

**ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI MENGGUNAKAN
METODE SEED ET AL. (1985), CETIN ET AL. 2004) DAN
HYPERBOLIC FUCTION (2012) BERDASARKAN DATA N-SPT
AKIBAT PENGARUH VARIASI MAGNITUDO GEMPA
ANALYSIS OF LIQUIFACTION POTENTIAL USING SEED ET
AL. (1985), CETIN ET AL. (2004) AND HYPERBOLIC FUCTION
(2012) METHODS BASED ON N-SPT DATA DUE TO THE
EFFECT OF EARTHQUAKE MAGNITUDE VARIATIONS**

**(Studi Kasus Proyek Jembatan Kretek II di Bantul, Daerah Istimewa
Yogyakarta)**

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



Faris Akbar Ash Shiddiqie

17511209

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

2022

TUGAS AKHIR

**ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI MENGGUNAKAN METODE
SEED ET. AL (1985), CETIN ET. AL (2004) DAN *HYPERBOLIC
FUCTION* (2012) BERDASARKAN DATA N-SPT AKIBAT
PENGARUH VARIASI MAGNITUDO GEMPA
*ANALYSIS OF LIQUEFACTION POTENTIAL USING SEED ET. AL
(1985), CETIN ET. AL (2004) AND HYPERBOLIC FUNCTION (2012)
METHODS BASED ON N-SPT DATA DUE TO THE EFFECT OF
EARTHQUAKE MAGNITUDE VARIATIONS***

**(Studi Kasus Proyek Jembatan Kretek II di Bantul, Daerah Istimewa
Yogyakarta)**

Disusun oleh:

Faris Akbar Ash Shiddiqie

17511209

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

Diuji pada tanggal 2022

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Hanindya Kusuma A, S.T., M.T.
NIK: 045110407

Penguji I

Ir. Akhmad Marzuko, M.T.
NIK: 885110107

Penguji II

Muhammad Rifqi A, S.T., M.Eng.
NIK: 135111101

Mengesahkan,

Ketua Prodi Sarjana Teknik Sipil

Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti., M.T.
NIK. 885110101



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Faris Akbar Ash Shiddiqie

NIM: 17511209

LEMBAR DEDIKASI

Bismillahirrahmanirrahim

Tugas Akhir ini saya dedikasikan untuk kedua orang tua saya, kakak, dan adik saya yang selalu membantu, mendoakan, dan mensupport saya, tidak Lelah dalam memberikan semangat serta menasehati saya agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga dengan selesainya tugas akhir ini, saya dapat memberikan feedback yang lebih kedepannya kepada teman teman disekitar saya yang selalu membantu saya dan khususnya orang tua saya, Aamiin..

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Potensi Likuifaksi Menggunakan Metode Seed et al. (1985), Cetin et al. (2004) dan *Hyperbolic Fuction* (2012) Berdasarkan Data N-SPT Akibat Pengaruh Variasi Magnitudo Gempa”. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW serta keluarga, sahabat serta pengikut beliau hingga yaumul akhir. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing penulis hingga selesai,
2. Bapak Akhmad Marzuko, Ir., M.T., selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan banyak masukan dan ilmu kepada penulis sehingga dalam tugas akhir ini dapat menjadi lebih baik,
3. Bapak Muhammad Rifqi A, S.T., M.Eng., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan semangat dan motivasi kepada penulis semoga dapat diamankan pada masa yang akan datang,
4. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T., selaku Kepala Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia,
5. Ayah, Ibu, Mbak Aya, dan Ade Sasa yang selalu mendukung dan mendoakan saya selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini,
6. Sahabat yang sudah penulis anggap saudara sendiri walaupun penulis tidak tahu mereka anggap apa kepada penulis. Terimakasih banyak Bil, Weng, Del,

Duk, Fen atas segala motivasinya, serta bantuan segi materil maupun inmateril, semoga kalian sukses di masa depan dan kita bisa kumpul bareng lagi,

7. Teman - teman Akadskuy yakni Wahyu, Ridwan, Lutfi, Abidzar, Fikri, Gondes, Aseng, Diks, Kotel, Ramo, Lampung, Suud, Waya, Anan, Faiq, Evan, Habib, Wahid, dan Yoda yang selalu ada dan menemani saya dari semester pertama sampai akhir serta memberikan solusi dan saran terbaik untuk saya,
8. Rekan Kerja Perusahaan Umum Jasa Tirta II atas pengalaman bekerja dan mengajarkan tentang ilmu manusia,
9. Rekan Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil, jajaran Ketua dan Kepala Departemen, serta staff Pengabdian Masyarakat atas pengalaman yang sudah diberikan kepada penulis,
10. Teman – teman Teknik Sipil angkatan 2017 yang sudah menemani dan membantu selama perkuliahan ini,
11. Keluarga besar di Semarang, Grobogan, dan Purwakarta,
12. Rekan – rekan yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Tugas Akhir ini masih sangat jauh dari kata sempurna, karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman. Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membaca dan mencari referensi dalam penelitian ini.

Yogyakarta, 04 Agustus 2022



Faris Akbar Ash Shiddiqie

17511209

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	III
LEMBAR DEDIKASI	IV
KATA PENGANTAR	V
DAFTAR ISI	VII
DAFTAR TABEL	X
DAFTAR GAMBAR	XII
DAFTAR LAMPIRAN	XIII
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	XIV
ABSTRAK	XV
<i>ABSTRACT</i>	XVI
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Lapangan	5
2.2 Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Pengujian Laboratorium	7
2.3 Keaslian Penelitian	8
2.4 Perbedaan dengan Penelitian yang Terdahulu	8
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Umum	12
3.1.1 Klasifikasi Tanah	12
3.1.2 Jenis Tanah	13
3.1.3 Tegangan pada tanah	15
3.2 Likuifaksi	18

3.3	Gempa Bumi	20
3.3.1.	Percepatan Muka Tanah Puncak pada Batuan Dasar (PGA)	20
3.3.2.	Kekuatan Gempa	22
3.4	Metode Untuk Menganalisis Potensi Likuifkasi	22
3.5	Perhitungan Nilai <i>Cyclic Stress Ratio</i>	23
3.6	Perhitungan Nilai <i>Cyclic Resistance Ratio</i>	26
BAB IV METODE PENELITIAN		35
4.1	Uraian Umum Penelitian	35
4.2	Lokasi Penelitian	35
4.3	Tahapan Penelitian	36
4.3.1	Pengumpulan Data	36
4.3.2	Analisis Data	36
4.3.3	Tahap Penulisan dan Kesimpulan	37
4.4	Bagan Alir Penelitian	37
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		39
5.1	Pendahuluan	39
5.1.1	Data Tes Lapangan N-SPT	39
5.1.2	Penentuan Nilai Percepatan Gempa di Muka Tanah pada Batuan Dasar	40
5.1.3	Analisis Data SPT Lapangan	41
5.2	Analisis Potensi Likuifaksi	52
5.2.1	Analisis Potensi Likuifaksi Metode Seed et. al (1985)	52
5.2.2	Analisis Potensi Likuifaksi Metode Cetin et. al (2004)	59
5.2.3	Analisis Potensi Likuifaksi Metode HBF (2012)	66
5.3	Pembahasan	73
5.3.1	Metode Seed et al. (1985)	73
5.3.2	Metode Cetin et al. (2004)	81
5.3.3	Metode HBF (2012)	88
5.3.4	Perbandingan Nilai SF Dari 3 Metode	97
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		103
6.1	Kesimpulan	103

6.2 Saran	104
DAFTAR PUSTAKA	105



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	9
Tabel 3. 1 Tabel 3.1 Koefisien Situs FPGA	21
Tabel 3. 2 Penjelasan Kelas Situs	21
Tabel 3. 3 Parameter Koefisien Metode HBF	30
Tabel 3. 4 Nilai Koreksi	31
Tabel 3. 5 Nilai Koefisien Model Metode Cetin et al.	34
Tabel 5. 1 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tegangan Efektif Vertikal (σ'_v) Pada Titik BM-K1	43
Tabel 5. 2 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tegangan Efektif Vertikal (σ'_v) Pada Titik BM-K2	44
Tabel 5. 3 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tegangan Efektif Vertikal (σ'_v) Pada Titik BM-K3	45
Tabel 5. 4 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai $N_{1(60)}$ Pada Titik BM-K1	49
Tabel 5. 5 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai $N_{1(60)}$ Pada Titik BM-K2	50
Tabel 5. 6 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai $N_{1(60)}$ Pada Titik BM-K3	51
Tabel 5. 7 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi Metode Seed et. Al (1985) Pada Titik BM-K1	56
Tabel 5. 8 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi Metode Seed et. Al (1985) Pada Titik BM-K2	57
Tabel 5. 9 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi Metode Seed et. Al (1985) Pada Titik BM-K3	58
Tabel 5. 10 Model Coefficients of Cetin et Al Method.	59
Tabel 5. 11 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi Metode Cetin et. Al (2004) Pada Titik BM-K1	63
Tabel 5. 12 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi Metode Cetin et. Al (2004) Pada Titik BM-K2	64
Tabel 5. 13 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi Metode Cetin et. Al (2004) Pada Titik BM-K3	65

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi Metode HBF (2012) Pada Titik BM-K1	70
Tabel 5. 15 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi Metode HBF (2012) Pada Titik BM-K2	71
Tabel 5. 16 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi Metode HBF (2012) Pada Titik BM-K3	72
Tabel 5. 17 Rekapitulasi Nilai <i>Safety Factor</i> Metode Seed et al. (1985) Pada Titik BM-K1	78
Tabel 5. 18 Rekapitulasi Nilai <i>Safety Factor</i> Metode Seed et al. (1985) Pada Titik BM-K2	79
Tabel 5. 19 Rekapitulasi Nilai <i>Safety Factor</i> Metode Seed et al. (1985) Pada Titik BM-K3	80
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Nilai <i>Safety Factor</i> Metode Cetin et al. (2004) Pada Titik BM-K1	85
Tabel 5. 21 Rekapitulasi Nilai <i>Safety Factor</i> Metode Cetin et al. (2004) Pada Titik BM-K2	86
Tabel 5. 22 Rekapitulasi Nilai <i>Safety Factor</i> Metode Cetin et al. (2004) Pada Titik BM-K3	87
Tabel 5.23 Rekapitulasi Nilai <i>Safety Factor</i> Metode HBF (2012) Pada Titik BM- K1	94
Tabel 5. 24 Rekapitulasi Nilai <i>Safety Factor</i> Metode HBF (2012) Pada Titik BM- K2	95
Tabel 5. 25 Rekapitulasi Nilai <i>Safety Factor</i> Metode HBF (2012) Pada Titik BM- K3	96
Tabel 5. 26 Rekapitulasi Perbandingan Nilai SF Pada Titik BM-K1	100
Tabel 5. 27 Rekapitulasi Perbandingan Nilai SF Pada Titik BM-K2	101
Tabel 5. 28 Rekapitulasi Perbandingan Nilai SF Pada Titik BM-K3	102

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Denah Lokasi Penelitian	3
Gambar 2. 1 Hasil Penelitian Potensi Likuifaksi Pada PLTU 2 dengan Data SPT	5
Gambar 3. 1 Tabel Klasifikasi Butiran Tanah	13
Gambar 3. 2 Interpretasi Tegangan Efektif dari Gaya antar Butiran	15
Gambar 3. 3 Perbandingan Tanah Stabil dengan Tanah Terlikuifaksi	19
Gambar 3. 4 Rentang Nilai PGA Wilayah Indonesia	20
Gambar 3. 5 Perbandingan r_d terhadap Kedalaman	24
Gambar 3. 6 Kurva CSR terhadap $(N_1)_{60cs}$	29
Gambar 3. 7 Metode Hyperbolic Function	32
Gambar 3. 8 Perbandingan Kurva nilai CRR Cetin et al 2004 dan 2016	33
Gambar 4. 1 Denah Lokasi Penyelidikan Tanah Jembatan Kretek II	36
Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian Tugas Akhir	38
Gambar 5. 1 Nilai SPT Lapangan	40
Gambar 5. 2 Sebaran Nilai CRR dan CSR Titik BM-K2	73
Gambar 5. 3 Sebaran Nilai CRR dan CSR Titik BM-K1	73
Gambar 5. 4 Sebaran Nilai CRR dan CSR Titik BM-K3	74
Gambar 5. 5 Potensi Likuifaksi Titik BM-K1 Metode Seed et al. (1985)	75
Gambar 5. 6 Potensi Likuifaksi Titik BM-K2 Metode Seed et al. (1985)	75
Gambar 5. 7 Potensi Likuifaksi Titik BM-K3 Metode Seed et al. (1985)	75
Gambar 5. 8 Sebaran Nilai CRR dan CSR Titik BM-K1	81
Gambar 5. 9 Sebaran Nilai CRR dan CSR Titik BM-K2	81
Gambar 5. 10 Sebaran Nilai CRR dan CSR Titik BM-K3	81
Gambar 5. 11 Potensi Likuifaksi Titik BM-K1 Metode Cetin et al. (2004)	82
Gambar 5. 12 Potensi Likuifaksi Titik BM-K2 Metode Cetin et al. (2004)	82
Gambar 5. 13 Potensi Likuifaksi Titik BM-K1 Metode Cetin et al. (2004)	83
Gambar 5. 14 Sebaran Nilai CRR dan CSR Titik BM-K1	88
Gambar 5. 15 Sebaran Nilai CRR dan CSR Titik BM-K2	88
Gambar 5. 16 Sebaran Nilai CRR dan CSR Titik BM-K1	88

Gambar 5. 17 Potensi Likuifaksi Titik BM-K1 Metode Metode HBF (2012)	89
Gambar 5. 18 Potensi Likuifaksi Titik BM-K2 Metode HBF (2012)	89
Gambar 5. 19 Potensi Likuifaksi Titik BM-K1 Metode HBF (2012)	89
Gambar 5. 20 Grafik HBF Titik BM-K1 $M_w = 7,0$ SR	91
Gambar 5. 21 Grafik HBF Titik BM-K1 $M_w = 6,3$ SR	91
Gambar 5. 24 Grafik HBF Titik BM-K3 $M_w = 6,3$ SR	92
Gambar 5. 25 Grafik HBF Titik BM-K3 $M_w = 7,0$ SR	92
Gambar 5. 27 Grafik HBF Titik BM-K2 $M_w = 7,5$ SR	91
Gambar 5. 22 Grafik HBF Titik BM-K2 $M_w = 7,0$ SR	91
Gambar 5. 23 Grafik HBF Titik BM-K1 $M_w = 7,5$ SR	91
Gambar 5. 26 Grafik HBF Titik BM-K2 $M_w = 6,3$ SR	91
Gambar 5. 28 Grafik HBF Titik BM-K3 $M_w = 7,5$ SR	92
Gambar 5. 31 Grafik Perbandingan SF Titik BM-K1	97
Gambar 5. 29 Grafik Perbandingan SF Titik BM-K1	97
Gambar 5. 30 Grafik Perbandingan SF Titik BM-K1	97
Gambar 5. 32 Grafik Perbandingan SF Titik BM-K2	97
Gambar 5. 35 Grafik Perbandingan SF Titik BM-K3	98
Gambar 5. 34 Grafik Perbandingan SF Titik BM-K2	98
Gambar 5. 33 Grafik Perbandingan SF Titik BM-K2	98
Gambar 5. 36 Grafik Perbandingan SF Titik BM-K3	98
Gambar 5. 37 Grafik Perbandingan SF Titik BM-K3	98

DAFTAR LAMPIRAN

Gambar L-1. 1 Stratigrafi Litologi Hasil Pemboran	110
Gambar L-2. 1 Grafik Akumulasi Ukuran Butir Tanah	117
Tabel L-2. 1 Pemboran dan Uji SPT Titik BM-K1	111
Tabel L-2. 2 Pemboran dan Uji SPT Titik BM-K2	113
Tabel L-2. 3 Pemboran dan Uji SPT Titik BM-K3	115
Tabel L-2. 4 Hasil Pengujian Bor Mesin Titik BM-K1	135
Tabel L-2. 5 Hasil Pengujian Bor Mesin Titik BM-K2	135
Tabel L-2. 6 Hasil Pengujian Bor Mesin Titik BM-K3	136
Tabel L-2. 7 Data N-SPT	136
Tabel L-2. 8 Hasil Pengujian Laboratorium	137

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

N-SPT	= <i>Standard Penetration Test</i>
SF	= <i>Safety Factor</i>
CRR	= <i>Cyclic Resistance Ratio</i>
CSR	= <i>Cyclic Stress Ratio</i>
HBF	= <i>Hyperbolic Function</i>
$N_1 (60)_{cs}$	= Nilai N terkoreksi
γ_w	= Berat volume air, (kN/m ³)
γ_d	= Berat volume kering, (kN/m ³)
γ_{sat}	= Berat volume tanah yang jenuh air (kN/m ³)
Φ	= Nilai Distribusi Standar Kumulatif
τ	= Tegangan geser tanah, kPa
σ_v	= Tegangan total vertikal (kN/m ²),
σ'_v	= Tegangan efektif vertikal (kN/m ²).
μ	= Tekanan air pori, (kN/m ²).
r_d	= Koefisien tegangan reduksi
g	= gravitasi, m/s ²
PGA	= Percepatan Puncak pada Bantuan Dasar
a_{maks}	= Percepatan permukaan horizontal maksimum, g
MSF	= <i>Magnitude Scaling Factor</i>
M _w	= <i>Moment Magnitude</i>
BM	= <i>Bench Mark</i>
P _a	= Tekanan Atmosfer (kPa)
FC	= <i>Fines Content</i> (%)

ABSTRAK

Kabupaten Bantul merupakan wilayah bagian dari Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang terletak di selatan dan berbatasan dengan Samudra Hindia. Dataran rendah di tengah pesisir bagian selatan kerap menimbulkan ancaman bencana dengan tingkat ancaman yang bervariasi, salah satunya adalah gempa bumi. Likuifaksi sering terjadi pada kejadian gempa bumi dimana terjadi perilaku tanah akibat beban gempa yang terjadi dalam waktu yang singkat. Getaran gempa yang merambat tanah dalam waktu yang singkat mengakibatkan massa tanah mengalami transisi dari keadaan padat menjadi keadaan cair. Lokasi dalam penelitian ini berada di proyek Jembatan Kretek II yang berlokasi di Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Rumusan permasalahan yang diangkat pada penelitian ini adalah menganalisis nilai *Safety Factor* (SF) menggunakan 3 metode yang berbeda yakni metode Seed et al. (1985), Cetin et al. (2004), dan HBF (2012) dengan variasi magnitudo gempa 6,3, 7,0 dan 7,5 SR. Kemudian bagaimanakah pengaruh *Safety Factor* (SF) terhadap variasi magnitudo gempa, serta bagaimanakah potensi likuifaksi yang terjadi pada titik BM-K1, BM-K2, dan BM-K3

Manfaat dari penelitian adalah untuk memberikan informasi potensi likuifaksi yang terjadi pada Jembatan Kretek II, memberikan informasi nilai angka aman mengenai potensi likuifaksi, serta dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk perencanaan di Kabupaten Bantul. Adapun tahapan dari penelitian ini dibagi menjadi 3, pertama adalah pengumpulan data lapangan dan data hasil uji laboratorium dari Lab Mekanika Tanah Universitas Islam Indonesia. Kemudian dilanjutkan dengan analisis potensi likuifaksi dengan *output* dari hasil potensi likuifaksi berupa grafik. Kemudian langkah terakhir adalah penulisan laporan dan membuat kesimpulan.

Hasil analisis potensi likuifaksi menggunakan metode Seed et al. (1985), Nilai *Safety Factor* (SF) pada Titik BM-K1 bervariasi antara 0,707 sampai 1,442, pada Titik BM-K2 variasi nilai SF berkisar antara 0,691 sampai 1,427, dan pada BM-K3 nilai SF berkisar antara 0,628 sampai 1,176. Dari hasil analisis potensi likuifaksi menggunakan metode Cetin et al. (2004), Nilai *Safety Factor* (SF) pada Titik BM-K1 bervariasi antara 0,090 sampai 2,344, pada Titik BM-K2 variasi nilai SF berkisar antara 0,113 sampai 2,261, dan pada BM-K3 nilai SF berkisar antara 0,128 sampai 1,317, 3. Dari hasil analisis potensi likuifaksi menggunakan metode HBF (2012), Nilai *Safety Factor* (SF) pada Titik BM-K1 bervariasi antara 0,201 sampai 4,949, pada Titik BM-K2 variasi nilai SF berkisar antara 0,208 sampai 0,990, dan pada BM-K3 nilai SF berkisar antara 0,153 sampai 1,136. Dari hasil analisis potensi likuifaksi menggunakan 3 metode diatas, dapat disimpulkan bahwa variasi magnitudo gempa berpengaruh terhadap nilai SF. Semakin besar magnitudo gempa yang terjadi, maka nilai SF semakin kecil. Potensi likuifaksi hampir terjadi diseluruh titik pada kedalaman 4 m sampai 18 m.

Kata Kunci: Likuifaksi, magnitudo gempa, *Cyclic Resistance Ratio*, *Safety Factor*.

ABSTRACT

Bantul Regency is part of the Special Region of Yogyakarta which is located in the south and borders the Indian Ocean. Lowlands in the middle of south coast often pose a threat of disasters with varying levels, one of which is earthquake. Liquefaction frequently occurs during earthquake when soil behavior happens due to the earthquake load in short time. Earthquake vibrations which propagate in the ground rapidly resulted in the soil mass transition from solid to liquid particles. This study is located in the Kretek II Bridge construction project, Bantul Regency, Yogyakarta Special Region. The formulation of the problem raised in this study is to analyse the value of the Safety Factor (SF) using 3 different methods, namely the Seed et al. (1985), Cetin et al. (2004), and HBF (2012) with variations in earthquake magnitudes of 6.3, 7.0 and 7.5 on the Richter Scale. Then how is the influence of the Safety Factor (SF) on variations in the magnitude of the earthquake, and how is the potential liquefaction that occurs at the points BM-K1, BM-K2, and BM-K3

The benefits of the research are to provide information on the potential for liquefaction that occurs at the Kretek II Bridge, provide information on the safe value of the liquefaction potential, and can be used as consideration for planning in Bantul Regency. The stages of this research are divided into 3, the first is the collection of field data and laboratory test data from the Soil Mechanics Lab, Islamic University of Indonesia. Then proceed with the analysis of the liquefaction potential with the output of the results of the liquefaction potential in the form of a graphic. Then the last step is writing a report and making conclusions.

The results of the liquefaction potential analysis using the Seed et al. (1985) method, the Safety Factor (SF) value at the BM-K1 point varies from 0.707 to 1.442, at the BM-K2 point the variation in the SF value ranges from 0.691 to 1.427, and at BM-K3 the SF value ranges from 0.628 to 1.176. From the results of the analysis of the liquefaction potential using the Cetin et al. (2004) method, the Safety Factor (SF) value at the BM-K1 point varies from 0.090 to 2.344, at the BM-K2 point, the SF value varies from 0.113 to 2.261, and at BM-K3 the SF value ranges from 0.128 to 1.317, 3. From the results of the liquefaction potential analysis using the HBF (2012) method, the Safety Factor (SF) value at the BM-K1 point varies from 0.201 to 4.949, at the BM-K2 point the SF value varies from 0.208 to 0.990, and at BM-K3 the SF value ranged from 0.153 to 1.136. From the results of the analysis of the liquefaction potential using the 3 methods above, it can be concluded that variations in earthquake magnitude affect the SF value. The larger the magnitude of the earthquake, the smaller the SF value. The liquefaction potential occurs almost at all points at a depth of 4 m to 18 m.

Keywords: Liquefaction, Earthquake Magnitude, Cyclic Resistance Ratio, Safety Factor.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

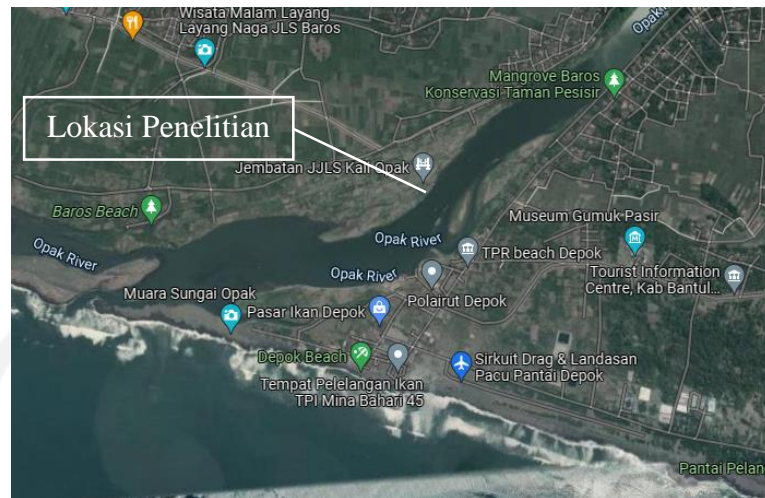
Tanah memiliki peranan yang vital dalam pembangunan infrastruktur. Pada dunia konstruksi, tanah berfungsi sebagai pendukung bangunan untuk menahan beban struktur di atasnya. Berbagai permasalahan tanah kerap terjadi akibat faktor alam maupun buatan, karena adanya permasalahan tanah dapat mengurangi daya dukung untuk menopang bangunan konstruksi tersebut. Dalam mengatasi permasalahan tersebut, perlu dilakukan penyelidikan tanah di lapangan untuk mendapatkan data yang digunakan pada perancangan bangunan konstruksi, seperti karakteristik tanah, kekuatan tanah, dan mengetahui posisi kedalaman muka air tanah agar bangunan konstruksi di atasnya dapat berdiri dengan kokoh, terhindar dari kerusakan berat dan tidak mengalami keruntuhan.

Secara geografis, Kabupaten Bantul merupakan wilayah bagian dari Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang terletak di selatan dan berbatasan dengan Samudra Hindia. Dataran rendah di tengah pesisir bagian selatan kerap menimbulkan bencana dengan tingkat ancaman yang bervariasi, salah satunya adalah gempa bumi. Gempa bumi di Kabupaten Bantul dapat diakibatkan oleh pergeseran lempeng bumi di bagian Laut Selatan Yogyakarta. Kabupaten Bantul khususnya yang berlokasi di pesisir pantai memiliki elevasi muka air tanah yang tinggi sehingga dapat menyebabkan potensi bencana seperti adanya pergeseran tanah. Oleh karena itu Kabupaten Bantul memiliki kerawanan yang cukup tinggi terhadap gempa bumi dan diperlukan kewaspadaan untuk menghadapi permasalahan tersebut. (Sumber: PPID Bantul, 2020)

Pada daerah tanah berpasir, gempa bumi memiliki dampak yang berbahaya bila tidak diantisipasi. Tanah berpasir memiliki karakteristik ukuran butiran tunggal, dengan ukuran rata – rata adalah 0,002 mm – 2 mm. hal ini dapat menyebabkan ruang pori antar butiran rentan terisi oleh air. sifat tanah pasir itu yaitu mudah menyerap air dan sebagian besar tanah pasir berasal dari pelapukan

batuan. Gempa bumi dapat mengakibatkan tegangan atau beban siklik yang terjadi dalam beberapa saat secara cepat, berulang, dan cukup besar sehingga menyebabkan sedimen tanah yang jenuh mengalami kehilangan kekuatan dan kekakuannya. Salah satu efek yang terjadi adalah fenomena tanah yang bereaksi seperti cairan atau yang dikenal dengan istilah likuifaksi. Hakam (2020) dalam bukunya menjelaskan bahwa likuifaksi adalah sebuah peristiwa perubahan kondisi tanah dari keadaan padat (*solid*) menjadi cairan (*liquid*). Likuifaksi sering terjadi pada kejadian gempa bumi dimana terjadi perilaku tanah akibat bawah beban gempa yang terjadi dalam waktu yang singkat. Getaran gempa yang merambat dalam deposit tanah dalam waktu yang singkat mengakibatkan massa tanah mengalami transisi dari keadaan padat menjadi keadaan cair.

Peristiwa likuifaksi diakibatkan karena kepadatan tanah yang rendah, jenis pasir yang seragam dan muka air yang tinggi. Oleh karena itu diperlukan adanya analisis potensi terjadinya likuifaksi. Beberapa metode yang digunakan dalam analisis potensi terjadinya likuifaksi terus berkembang dengan peristiwa yang telah terjadi. Dalam hal ini, metode analisis untuk mengetahui potensi likuifaksi dapat dilakukan dengan uji laboratorium seperti Analisa gradasi butiran, ataupun dapat dilakukan dengan data hasil pengujian di lapangan. Analisis Potensi likuifaksi dapat dilakukan menggunakan metode dengan data *Cone Penetration Test* (CPT), data *Standart Penetration Test* (SPT), maupun dengan metode probabilitas. Adapun lokasi penelitian dalam tugas akhir ini adalah proyek Jembatan Kretek II yang berlokasi di Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Gambar 1.1 merupakan denah lokasi penelitian dari Jembatan Kretek II.



Gambar 1. 1 Denah Lokasi Penelitian

(Sumber: Google Maps, 2021)

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah dijabarkan pada latar belakang, dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut.

1. Berapakah nilai Safety Factor (SF) dengan data N-SPT menggunakan metode Seed et al. (1985)?
2. Berapakah nilai Safety Factor (SF) dengan data N-SPT menggunakan metode Cetin et al. (2004)?
3. Berapakah nilai Safety Factor (SF) dengan data N-SPT menggunakan metode Hyperbolic Function (2012)?
4. Bagaimanakah pengaruh variasi magnitudo gempa terhadap potensi likuifaksi berdasarkan perbandingan nilai Cyclic Resistance Ratio (CRR) dengan nilai Cyclic Stress Ratio (CSR)?
5. Bagaimanakah potensi likuifaksi menggunakan metode Seed et al. (1985), Cetin et al. (2004) dan Metode Hyperbolic Function (2012) pada Titik BM-K1, BM-K2, dan BM-K3 di Proyek Jembatan Kretek II Bantul?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Menganalisis nilai *Safety Factor* (SF) dengan data N-SPT menggunakan metode Seed et al. (1985),

2. Menganalisis nilai *Safety Factor* (SF) dengan data N-SPT menggunakan metode Cetin et al. (2004),
3. Menganalisis nilai *Safety Factor* (SF) dengan data N-SPT menggunakan *Hyperbolic Function* (2012),
4. Menganalisis pengaruh variasi besaran magnitudo gempa terhadap potensi likuifaksi berdasarkan perbandingan nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dengan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR),
5. Menganalisis potensi likuifaksi menggunakan metode Seed et al. (1985), Cetin et al. (2004) dan Metode *Hyperbolic Function* (2012) pada Titik BM-K1, BM-K2, dan BM-K3 di Proyek Jembatan Kretek II Bantul.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan informasi mengenai potensi likuifaksi tanah pada proyek Jembatan Kretek II,
2. Dapat memberikan informasi mengenai angka keamanan mengenai potensi likuifaksi tanah pada proyek Jembatan Kretek II,
3. Dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam perencanaan pembangunan infrastruktur di Kabupaten Bantul.

1.5 Batasan Penelitian

Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Data tanah yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari hasil penyelidikan tanah yang berlokasi di proyek *Review* Desain Jembatan Kretek II Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta
2. Analisis potensi likuifaksi dilakukan pada 3 titik pengeboran penyelidikan tanah yakni pada titik BM-K1, BM-K2, dan BM-K3.
3. Penentuan parameter gempa di Kabupaten Bantul berdasarkan pada Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 dan SNI 1726-2019
4. Penggunaan skala magnitudo gempa yang digunakan yakni 6,3 SR Mw berdasarkan gempa yang terjadi di Yogyakarta pada Tahun 2006, kemudian digunakan variasi gempa lainnya dengan skala 7 SR dan 7,5 SR

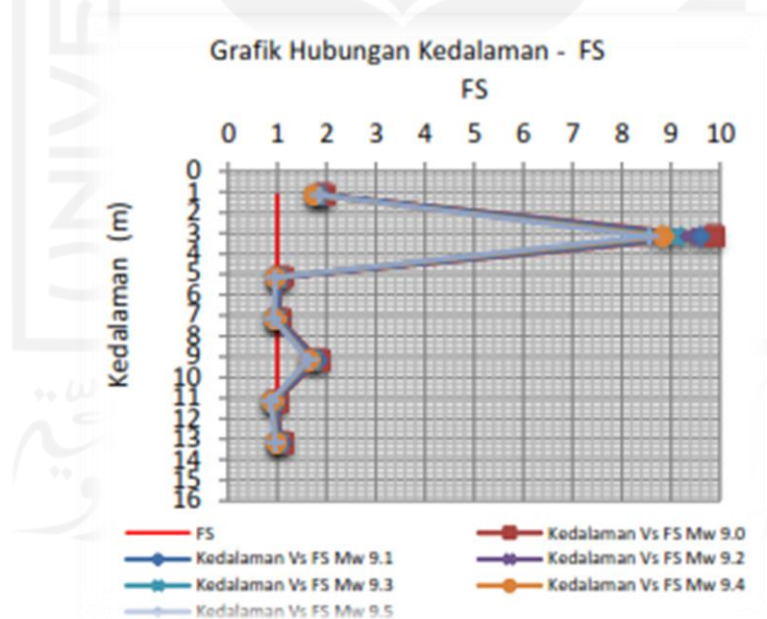
5. Metode yang digunakan untuk analisis potensi likuifaksi dari hasil penyelidikan tanah berupa data N-SPT yakni nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dianalisis dengan metode Seed et al, Cetin et al, dan *Hyperbolic Function*.
6. Nilai probabilitas pada metode Cetin et al. (2004) menggunakan nilai 0,15.
7. Batasan kedalaman pada penelitian ini adalah kedalaman 0 sampai 22 meter,



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Lapangan

Balamba dkk (2013) melakukan penelitian yakni analisis potensi likuifaksi yang berlokasi di PT.PLN (Persero) UIP KIT Sulmapa PLTU 2 Sulawesi Utara 2 x 25 MW *Power Plan*. Tujuan dari penelitiannya adalah untuk menganalisis perhitungan *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dengan menggunakan data *Standart Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT). Kemudian mencari faktor keamanan pada tanah berpasir untuk dibandingkan hasil analisis data yang diperoleh dari pengolahan data SPT dan data CPT. Dalam penelitiannya, digunakan empat titik uji SPT dan empat titik uji CPT. Gambar 2.1 merupakan hasil analisis potensi likuifaksi yang dilakukan oleh Balamba dkk (2013).



Gambar 2.1 Hasil Penelitian Potensi Likuifaksi Pada PLTU 2 dengan Data SPT

(Sumber: Balamba dkk, 2013)

Dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa nilai potensi likuifaksi diproyeksikan kedalam grafik antara kedalaman dengan nilai faktor keamanan (FS).

Adapun metode yang digunakan untuk menghitung nilai CRR dengan menggunakan data SPT dan CPT adalah dengan menggunakan metode Youd dan Idriss (2001). Dengan menggunakan Metode Youd dan Idriss, hasil yang didapat dengan data SPT dan CPT pada 4 titik pengujian menghasilkan angka lebih dari satu sehingga pada Lokasi PLTU 2 Sulawesi Utara tidak berpotensi mengalami likuifaksi.

Hutalugung dan Tarigan (2019) melakukan penelitian mengenai analisis potensi likuifaksi akibat gempa yang berlokasi di Reklamasi Pelabuhan Kontainer Belawan Fase-2 Kota Medan, Sumatera Utara. Adapun dari tujuan penelitian tersebut adalah untuk mencari nilai Faktor Aman (FS) dengan menganalisis potensi likuifaksi menggunakan data pengujian *Cone Penetration Test* dengan *Pressure Measurment* (CPTu). Kemudian yang ditekankan dalam penelitian ini adalah perhitungan pada percepatan pada permukaan tanah (a_{max}). Pada penelitian ini digunakan *software edushake* dengan memasukkan parameter yang diperlukan, yakni kedalaman muka air tanah, tebal lapisan tanah, berat isi lapisan tanah, nilai modulus geser maksimum, dan kecepatan rambat gelombang geser (V_s). Metode yang digunakan untuk perhitungan nilai CRR yakni menggunakan metode NCEEER (1996). Kesimpulan dari penelitian ini adalah nilai percepatan pada permukaan tanah disetiap lapisan mengalami kenaikan bila terjadi pergerakan dari batuan dasar dengan karakteristik gempa Elcentro. Kemudian untuk nilai angka aman yang dihasilkan, hampir terjadi likuifaksi pada titik pengujian jika terjadi gempa dengan magnitudo 6,9 SR.

Rahman dkk (2020) melakukan penelitian mengenai analisis tingkat potensi likuifaksi di Kawasan *Underpass Yogyakarta International Airport* (YIA). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai faktor aman dari perbandingan nilai dari perbandingan nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dan *Cyclic Stress Ratio* (CSR), kemudian untuk analisis tingkat potensi likuifaksi menggunakan metode *liquefaction Potential Index* (LPI). Adapun pada penelitian ini digunakan data lapangan berupa data SPT dengan 5 titik pengujian bor di Kawasan *Underpass* YIA. Penggunaan magnitudo gempa pada penelitian ini mengacu pada data historis gempa besar yang pernah terjadi di Daerah Istimewa Yogyakarta pada tahun 2006,

yakni besar momen magnitudo gempa (M_w) sebesar 6,3. Metode yang digunakan untuk analisis potensi likuifaksi dengan data SPT adalah menggunakan metode *simplified procedure*, perhitungan nilai CSR menggunakan metode Seed dan Idriss (1970), dan untuk nilai CRR menggunakan metode Rauch dalam Youd et al. (2001). Kesimpulan dari penelitian ini adalah berdasarkan hasil analisis, lapisan tanah pasir di Kawasan *Underpass* YIA pada kedalaman 1 m sampai 6 m berpotensi mengalami likuifaksi pada 3 titik pengujian, sedangkan 2 titik lainnya tidak berpotensi mengalami likuifaksi. Berdasarkan nilai LPI, pada lokasi tersebut terbagi menjadi 2 kategori yakni rendah dan tinggi, dengan kategori yang dominan terjadi adalah tinggi sehingga tanah dasar pada lokasi ini dikategorikan rentan terlikuifaksi.

Ansori (2020) melakukan penelitian yakni analisis potensi likuifaksi menggunakan data lapangan berupa data N-SPT yang berlokasi di pembangunan *New Yogyakarta International Airport* (NYIA) di Desa Glagah dan Desa Palihan, Kabupaten Kulon Progo. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis besar probabilitas terhadap likuifaksi berdasarkan data lapangan, kemudian menganalisis hubungan nilai N-SPT terhadap probabilitas likuifaksi, serta menganalisis hubungan magnitudo gempa terhadap likuifaksi. Analisis ini dilakukan pada 12 titik bor yang berbeda. Magnitudo gempa yang digunakan yakni 6,5 SR, 7,5 SR, dan 8,5 SR. Metode yang digunakan untuk menganalisis potensi likuifaksi berdasarkan data lapangan mengacu pada metode NCEER (1996). Untuk menganalisis probabilitas terjadinya likuifaksi digunakan metode probabilitas dengan metode Haidar dan Tang (1979), Hwang dkk (2004), Sonmez dan Gokceoglu (2005), serta Juang dkk (2008). Kesimpulan dari penelitian ini adalah terdapat potensi likuifaksi pada 12 titik pengujian sampel dengan nilai probabilitas kejadian diatas 85% pada beberapa kedalaman yang diteliti. Kemudian pertambahan nilai N-SPT berpengaruh pada penurunan nilai probabilitas likuifaksi serta semakin kecil skala magnitudo gempa maka semakin besar nilai CRR, disimpulkan bahwa semakin besar nilai CRR, maka nilai probabilitas likuifaksi semakin kecil.

2.2 Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Pengujian Laboratorium

Prayitno (2021) melakukan penelitian potensi likuifaksi berdasarkan distribusi ukuran tanah yang berlokasi di Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia

Kabupaten Bantul. Penelitian dilakukan dengan melakukan pengujian laboratorium untuk mendapatkan hasil distribusi ukuran tanah. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui data distribusi ukuran tanah berupa persentase tanah lolos saringan dan diameter ukuran butir, yang kemudian disajikan dalam bentuk grafik distribusi ukuran butiran. Kemudian menganalisis dengan menggunakan data CPT untuk dibandingkan dengan metode yang dilakukan dengan pengujian laboratorium. Serta untuk menentukan tingkat potensi likuifaksi, digunakan metode *Liquefaction Potential Index* (LPI). Berdasarkan pengujian yang dilakukan, diperoleh tanah sampel dengan jenis pasir lanau serta memiliki ukuran butir yang berpotensi mengalami likuifaksi, sama halnya dengan perhitungan berdasarkan data lapangan. Perhitungan tingkat potensi likuifaksi dengan metode LPI menunjukkan dominasi kategori yang sangat tinggi sehingga berpotensi terlikuifaksi.

2.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan studi pada penelitian yang telah dijabarkan sebelumnya, penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti adalah menganalisis potensi likuifaksi pada Proyek Desain Jembatan Kretek II Bantul menggunakan data N-SPT dengan metode Seed et al. (1985), Cetin et al. (2004) dan metode *Hyperbolic Function*. (2012). Pada penelitian digunakan variasi magnitudo gempa 6,3 SR, 7 SR, dan 7,5 SR.

2.4 Perbedaan dengan Penelitian yang Terdahulu

Pada penelitian yang telah ada, memiliki berbagai macam perbedaan baik dalam penggunaan metode yang digunakan, dan juga lokasi penelitian yang ditinjau. Berdasarkan hal tersebut, perbedaan penelitian yang dilakukan sebelumnya dengan penelitian yang akan diteliti oleh peneliti akan diuraikan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Balamba dkk	Hutalugung dan Tarigan	Rahman dkk	Ansori	Prayitno	Ash Shiddiqie
Tahun	2013	2019	2020	2020	2021	2021
Judul Penelitian	Analisis Potensi Likuifaksi Di PT. PLN (Persero) UIP KIT SULMAPA PLTU 2 Sulawesi Utara 2x25 Mw <i>Power Plan</i>	Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa (Studi kasus: Reklamasi Pelabuhan Kontainer Belawan Fase-2 Medan)	Analisis Tingkat Potensi Likuifaksi di Kawasan <i>Underpass Yogyakarta International Airport (YIA)</i>	Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Berdasarkan Data <i>Insitu Test</i> Menggunakan Metode Probabilitas (Studi Kasus: Pembangunan <i>New Yogyakarta International Airport</i>)	Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Distribusi Ukuran Butir Tanah dan Data <i>Cone Penetration Test (CPT)</i> (Studi Kasus: Gedung Rumah Sakit UII Bantul)	Analisis Potensi Likuifaksi Menggunakan Metode Cetin et al dan Metode <i>Hyperbolic Function (HBF)</i> Akibat Pengaruh Variasi Magnitudo Gempa (Studi Kasus: Proyek Jembatan Kretek II Bantul)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Balamba dkk	Hutalugung dan Tarigan	Rahman dkk	Ansori	Prayitno	Ash Shiddiqie
Tahun	2013	2019	2020	2020	2021	2021
Tujuan Penelitian	Mengetahui nilai Faktor Aman (FS) pada tanah berpasir untuk dibandingkan dari hasil analisis data N-SPT dan data CPT.	Mengetahui nilai Faktor Aman (FS) dengan hasil analisis berdasarkan data CPTu	Mengetahui nilai Faktor Aman (FS) dari perbandingan nilai CSR dan CRR. Mengetahui tingkat potensi likuifaksi dengan menggunakan metode LPI	Menganalisis besar probabilitas likuifaksi berdasarkan data N-SPT. Menganalisis Hubungan N-SPT terhadap probabilitas likuifkasi. Menganalisis hubungan magnitudo gempa terhadap likuifaksi	Mengetahui potensi likuifaksi dari hasil distribusi ukuran butir tanah, mengetahui potensi likuifaksi berdasarkan data CPT. Mengetahui potensi likuifaksi dari hasil perhitungan nilai LPI	Menganalisis nilai CRR dengan data N-SPT menggunakan metode Seed et al., Cetin et Al, dan metode HBF, Menganalisis pengaruh variasi magnitudo gempa terhadap potensi likuifaksi
Metode Penelitian	Metode Youd dan Idriss (2001)	Metode NCEER (1996)	Metode Rauch dalam Youd et al. (2001) dan metode LPI	Metode NCEER (1996), Probabilitas menggunakan metode Haidar dan Tang (1979), Hwang dkk (2004), Sonmez dan Gokceoglu (2005), serta Juang dkk (2008).	Pengujian laboratorium untuk distribusi ukuran butiran, dan metode Idriss dan Boulanger (2014) untuk data CPT	Metode Seed et al (1985), Cetin et al. (2004) dan metode <i>Hyperbolic Function</i> (HBF) (2012)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Balamba dkk	Hutalugung dan Tarigan	Rahman dkk	Ansori	Prayitno	Ash Shiddiqie
Tahun	2013	2019	2020	2020	2021	2022
Hasil Penelitian	<p>Nilai CRR yang dihasilkan dari metode SPT umumnya lebih besar dari nilai CRR dari metode CPT. Faktor keamanan yang dihasilkan dari empat titik pengujian lebih besar dari satu, artinya tidak terjadi likuifaksi.</p>	<p>Nilai percepatan pada permukaan di setiap lapisan tanah mengalami deamplifikasi bila terjadi pergerakan dari batuan dasar dengan karakteristik gempa Elcentro. Terjadi likuifaksi hampir di setiap titik uji, dan berpotensi mengalami likuifaksi jika terjadi gempa dengan magnitudo 6.9 SR.</p>	<p>Lapisan tanah berpotensi mengalami likuifaksi pada kedalaman 1 m sampai 6m. Nilai LPI didominasi oleh kategori tinggi sehingga tanah dasar pada kawasan ini dikategorikan rentan terhadap likuifaksi</p>	<p>Pada 12 titik sampel terdapat potensi likuifaksi dengan tingkat bahaya hampir pasti terlikuifaksi atau nilai peluang diatas 85%. Hubungan nilai N-SPT berkorelasi dengan penurunan nilai probabilitas likuifaksi. Semakin kecil skala magnitudo gempa semakin besar nilai CRR.</p>	<p>Tanah sampel di kedua titik mengandung pasir lanau, serta memiliki ukuran butir yang berpotensi likuifaksi, perhitungan dari data CPT didominasi mengalami likuifaksi, analisis dengan metode LPI didominasi kategori sangat tinggi.</p>	<p>Dari ketiga metode dapat disimpulkan bahwa semakin besar magnitudo gempa, maka nilai CRR semakin kecil, Semakin besar magnitudo gempa, nilai SF semakin kecil.</p>

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

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

3.1.1 Klasifikasi Tanah

Istilah pasir, lempung, lanau, atau lumpur digunakan untuk menggambarkan partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan (Hardiyatmo, 2012). Klasifikasi tanah dapat dikelompokkan berdasarkan variasi ukuran butiran. Penjelasan mengenai klasifikasi tanah dapat dilihat pada Gambar 3.1.

	1,7 mm	0,38	0,075								
Unified Class System	kasar	sedang	halus	butiran halus (lanau dan lempung)							
ASTM	2,0 mm	0,420	0,075	0,005	0,001						
	pasir sedang	pasir halus	lanau	lempung	lempung koloidal						
MIT nomenclature	2,0 mm										
	kasar	sedang	halus	kasar	sedang	halus	kasar	sedang	halus		
International nomenclature	2,0 mm	1,0	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,006	0,002	0,0006	0,0002 mm
	sangat kasar	kasar	sedang	halus	kasar	halus	kasar	halus	kasar	halus	sangat halus
	pasir			Mo		lanau		lempung			

Gambar 3. 1 Tabel Klasifikasi Butiran Tanah

(Sumber: Hardiyatmo, 2012)

Dalam praktiknya di lapangan, jarang ditemui hanya ada 1 jenis tanah dalam satu area. Tanah yang ada rata-rata terdiri dari jenis tanah campuran dan memiliki variasi ukuran partikel. Ukuran partikel tanah dapat bervariasi dari lebih besar dari 100 mm sampai lebih kecil dari 0,001 mm (Hardiyatmo, 2012). Pada Gambar 3.1 menunjukkan klasifikasi tanah berdasarkan sistem *Unified Soil Classification System* (USCS), *American Society for Testing and Materials* (ASTM), *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), dan *International Nomenclature* yang ditinjau berdasarkan ukuran gradasi butiran.

3.1.2 Jenis Tanah

Dalam SNI 03-6371-2000 dijelaskan beberapa jenis tanah, adapun penjelasannya adalah sebagai berikut.

1. Kerikil

Kerikil merupakan partikel butiran yang lolos saringan ukuran 75 mm dan tertahan pada saringan No.4 (4,75 mm). Kerikil dibagi menjadi 2 yakni krikil kasar dan krikil halus, kerikil kasar merupakan butiran batuan yang lolos saringan ukuran 75 mm serta tertahan pada saringan ukuran 19 mm, sedangkan kerikil halus merupakan butiran batuan yang lolos saringan ukuran 19 mm.

2. Tanah Pasir

Pasir merupakan butiran batuan yang lolos saringan No.4 (4,75 mm). pasir dapat dibagi menjadi 3 jenis, yakni tanah pasir kasar, pasir sedang, dan pasir halus. Tanah pasir kasar adalah butiran batuan yang lolos saringan No.4 (4,75 mm) serta tertahan saringan No.12 (2 mm). Tanah pasir sedang merupakan butiran batuan yang lolos saringan No.12 (2 mm) serta tertahan pada saringan No. 40 (0,425 mm). Tanah pasir halus adalah butiran batuan yang lolos saringan No. 40 (0,425 mm) dan tertahan pada saringan No. 200 (0,075 mm).

3. Tanah Lempung

Tanah lempung adalah butiran tanah lolos pada saringan No. 200 (0,075 mm) yang dalam satu rentang kadar air tertentu bersifat plastis dan mempunyai kekuatan yang cukup besar pada saat kering udara.

4. Tanah Lanau

Tanah lanau merupakan butiran tanah lolos pada saringan No. 200 (0,075 mm) yang bersifat non plastis atau sangat sedikit plastis dan dapat memberikan sedikit atau tidak ada kekuatan pada saat kering udara

5. Tanah Lempung Organik

Tanah lempung organik merupakan tanah lempung dengan kadar organik yang cukup tinggi untuk mempengaruhi sifat-sifat tanah. Pada klasifikasi, lempung organik merupakan tanah lempung dimana nilai batas cair kering oven kurang dari 75% nilai batas cair pengeringan.

6. Tanah Lanau Organik

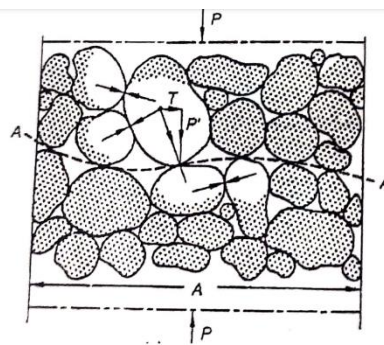
Tanah lanau organik merupakan tanah lempung dengan kadar organik yang cukup tinggi untuk mempengaruhi sifat-sifat tanah. Pada klasifikasi, lanau organik merupakan tanah lanau dimana nilai batas cair kering oven kurang dari 75% nilai batas cair pengeringan.

7. Tanah Gambut

Tanah Gambut merupakan bahan alam yang terjadi dengan substansi kadar organik tinggi, mengandung serat tumbuhan pada berbagai tingkat pembusukan.

3.1.3 Tegangan pada tanah

Dalam bukunya, Hardiyatmo (2012) menjelaskan bahwa tanah dipengaruhi oleh gaya angkat keatas akibat tekanan air hidrostatik. Tegangan yang terjadi akibat berat tanah yang terendam (berat tanah efektif) dalam tanah disebut tegangan efektif. Tegangan efektif adalah tegangan yang dipengaruhi oleh kuat geser dan perubahan volume atau penurunan tanah. Gambar 3.2 merupakan interpretasi tegangan efektif dari gaya antar butiran pada tanah.



Gambar 3. 2 Interpretasi Tegangan Efektif dari Gaya antar Butiran

(Sumber: Hardiyatmo, 2012)

1. Tegangan Efektif Tanah

Pada konsep tegangan efektif, Terzaghi (1923) dalam buku Hardiyatmo (2012) menjelaskan terkait prinsip tegangan efektif yang bekerja pada tanah. Namun prinsip tersebut berlaku untuk tanah jenuh sempurna. Tegangan yang berhubungan dengan prinsip ini yakni:

- Tegangan normal total (σ) pada satu bidang di dalam tanah, merupakan tegangan akibat berat tanah total termasuk air pori, per satuan luas yang arahnya tegak lurus
- Tekanan air pori (μ) merupakan tekanan netral yang bekerja ke segala arah, yaitu tekanan air yang mengisi rongga di antara butiran tanah padat
- Tegangan normal efektif (σ') pada bidang tertentu di dalam tanah, yaitu tegangan yang dihasilkan dari beban berat tanah per satuan luas bidang.

Pada gambar 3.4 ditinjau bidang tanah. A-A merupakan bidang tanah yang bergelombang dengan tergantung pada besarnya butiran tanah, P merupakan gaya normal yang bekerja pada luasan A, kemudian ditahan oleh gaya antar

butiran dan sebagian oleh tekanan air pori. Sehingga dari penjelasan prinsip dan gambar tersebut dapat dihubungkan ketiganya menjadi rumus Persamaan 3.1 sebagai berikut.

$$\sigma = \sigma' + \mu \quad (3.1)$$

dengan:

σ = Tegangan normal tanah (kN/m^2)

σ' = Tegangan efektif tanah (kN/m^2)

μ = Tekanan air pori tanah (kN/m^2)

berdasarkan rumus diatas, maka dapat dijabarkan rumus tegangan total menjadi Persamaan 3.2 sebagai berikut.

$$\sigma = \gamma \cdot H \quad (3.2)$$

keterangan:

σ = Tegangan total tanah (kN/m^2)

γ = Berat volume lapisan tanah (kN/m^3)

H = Tebal lapisan tanah (m)

Tegangan efektif tanah (σ') dirumuskan sebagai Persamaan 3.3 berikut.

$$\sigma' = \sigma - \mu \quad (3.3)$$

Dengan:

σ' = Tegangan efektif tanah (kN/m^2)

σ = Tegangan normal tanah (kN/m^2)

μ = Tekanan air pori tanah (kN/m^2)

Rumus dari tekanan air pori tanah dijabarkan dalam Persamaan 3.4 berikut.

$$\mu = \gamma_w \cdot H \quad (3.4)$$

Dengan:

μ = Tekanan air pori tanah (kN/m^2)

γ_w = Berat volume air ($9,81 \text{ kN/m}^3$)

H = Tebal lapisan tanah (m)

2. Tegangan Vertikal pada Tanah

Tegangan vertikal merupakan tegangan normal pada bidang horizontal dengan kedalaman tertentu yang sama dengan berat seluruh material (tanah + air) per satuan luas dengan rumus yang ada pada Persamaan 3.5 berikut.

$$\sigma_v = \gamma_{sat} \cdot z \quad (3.5)$$

Keterangan:

σ_v = Tegangan total vertikal (kN/m²)

γ_{sat} = Berat volume tanah yang jenuh air (kN/m³)

z = Kedalaman (z)

Berdasarkan Persamaan 3.1 diatas, tegangan vertikal efektif σ_v' pada kedalaman z dijabarkan dalam Persamaan 3.6 berikut.

$$\begin{aligned} \sigma_v' &= \sigma_v - \mu \\ &= z \cdot \gamma_{sat} - z \cdot \gamma_w \\ &= (\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot z \\ &= \gamma' z \end{aligned} \quad (3.6)$$

Keterangan:

σ_v' = Tegangan efektif vertikal (kN/m²)

γ_{sat} = Berat volume tanah yang jenuh air (kN/m³)

γ_w = Berat volume air, kN/m³

z = Kedalaman (m)

3. Tegangan Horizontal pada Tanah

Pada tiap lapisan tanah jarang sekali terjadi nilai tegangan horisal akan sama dengan tegangan vertikalnya, karena hal tersebut, Persamaan 3.7 merupakan rumus dari tegangan horizontal.

$$\sigma_h = K \cdot \sigma_v \quad (3.7)$$

Dengan:

σ_h = Tegangan total horizontal (kN/m²)

σ_v = Tegangan total vertikal (kN/m²)

K = Koefisien tekanan tanah

dengan K merupakan koefisien tekanan tanah karena permukaan air yang fluktuatif sehingga merubah dari nilai tegangan total, maka nilai koefisien K sama dengan tidak kosntan, oleh karena itu, rumus dari tegangan efektifnya dijabarkan pada Persamaan 3.8 berikut.

$$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v \quad (3.8)$$

Dengan:

σ'_h = Tegangan efektif horizontal (kN/m²)

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

K_0 = Koefisien Tekanan tanah dalam keadaan diam

K_0 menyatakan bahwa kondisi tegangan pada tanah berada dalam keadaan efektif, walaupun kedalaman berubah, maka nilai K_0 tetap konstan selama lapisan memiliki kepadatan yang sama.

3.2 Likuifaksi

Likuifaksi adalah fenomena pada masa tanah kehilangan sebagian besar tahanan geser akibat beban dinamik/siklik sehingga mengalir seperti cairan hingga tegangan geser yang bekerja di masa tanah tersebut sama rendahnya dengan tahanan geser yang berkurang (Sladen et al, 1985). Dalam buku “Analisis Praktis Potensi Likuifaksi”, Hakam (2020) menjelaskan berdasarkan catatan kejadian yang telah lalu, likuifaksi dijumpai lebih banyak terjadi pada deposit tanah berbutir halus dan lepas dalam keadaan jenuh. Tanah berbutir halus memiliki sifat yang buruk dalam drainase atau mengalirkan air di dalam tanah. Pada saat terjadi gempa bumi, getaran merambat pada massa tanah yang mengakibatkan butiran – butiran pasir yang lepas cenderung berubah posisi sehingga mengalami penurunan volume. Kemudian selanjutnya terjadi peningkatan tekanan air di sekitaran butiran tanah pasir sehingga menurunkan kekuatan geser efektif tanah, dan menyebabkan tekanan efektif tanah menjadi hilang dan tanah yang mulanya berwujud solid berubah menjadi wujud cairan.

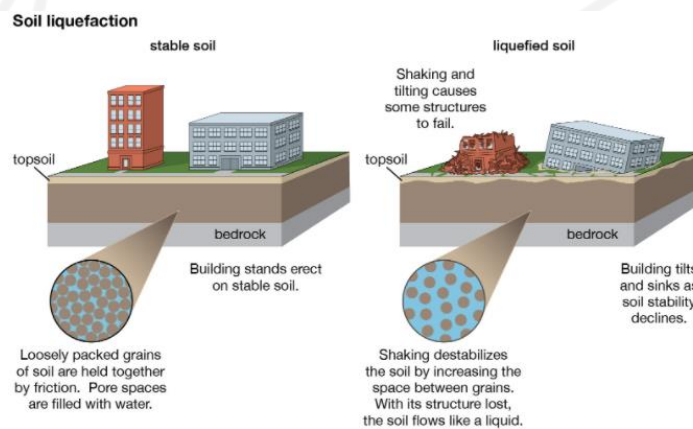
Likuifaksi dapat terjadi akibat faktor–faktor yang mempengaruhinya. Dalam bukunya, Widodo (2012) menjelaskan beberapa faktor terjadinya likuifaksi antara lain sebagai berikut.

1. Karakteristik Getaran

Potensi terjadinya likuifaksi berbanding lurus dengan percepatan tanah akibat gempa dan seberapa lama durasi getaran yang terjadi, kedua hal tersebut berhubungan dengan magnitudo gempa yang terjadi.

2. Jenis Tanah

Telah dijelaskan oleh banyak peneliti bahwa potensi likuifaksi terjadi pada *non-cohesive soil* atau tanah pasir lepas atau sedikit tanah campuran dengan indeks plastis (PI) yang kecil. Ikatan tanah pasir dapat lepas akibat muka air tanah dan juga akibat guncangan gempa yang terjadi. Untuk mengetahui jenis tanah pada suatu lokasi, diperlukan adanya penyelidikan tanah untuk mengetahui jenis dan karakteristik tanah. Gambar 3.3 merupakan gambaran perbandingan antara tanah yang stabil dengan tanah yang terlikuifaksi.



Gambar 3. 3 Perbandingan Tanah Stabil dengan Tanah Terlikuifaksi

(Sumber: Rafferty, J.P., 2021)

3. Distribusi Diameter Butir

Menurut Prakash (1981) dan Day (2002) dalam buku "Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan" dijelaskan bahwa butiran-butiran pada pasir halus dan seragam cenderung lebih berpotensi terjadi likuifaksi. Hal ini disebabkan karena butir halus dan peningkatan tegangan pori air lebih mudah direduksi. Untuk mengetahui pendistribusian butiran, perlu dilakukan analisis saringan agar diketahui variasi gradasi butirannya.

4. Muka Air Tanah

Muka air tanah dapat mengakibatkan lapisan tanah yang *total overburden pressure* nya relatif kecil akan bersifat jenuh air akan memudahkan terjadinya likuifaksi. Das (1992) menjelaskan bahwa likuifaksi biasanya terjadi pada tanah yang jenuh air. Pada saat terjadi getaran, muka air memberikan tekanan sehingga mempengaruhi kepadatan tanah, tekanan air pori dapat meningkat dan akhirnya

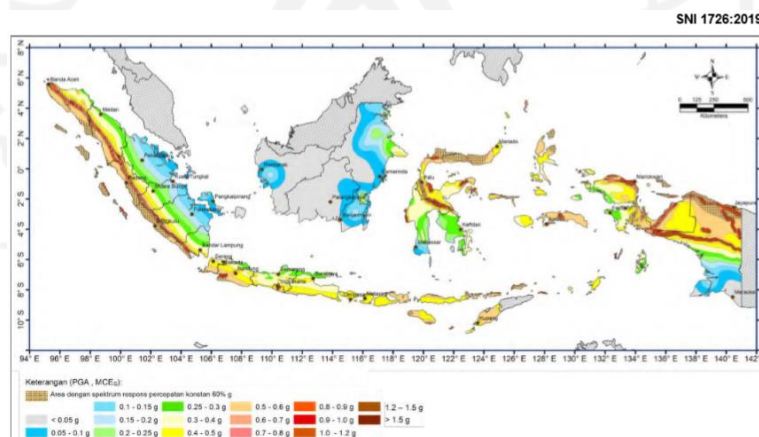
tanah tidak memiliki daya dukung yang kuat, sehingga tidak mampu menahan beban struktur yang ada di atasnya.

3.3 Gempa Bumi

Dalam bukunya, Salim dan Siswanto (2018) menjelaskan Gempa bumi (*earth quake*) merupakan suatu gejala fisik yang ditandai dengan bergetarnya bumi dengan berbagai intensitas. Getaran gempa dapat disebabkan oleh desakan magma ke permukaan bumi (gunung vulkanik), atau bisa disebabkan juga dengan adanya peristiwa tektonik, yakni getaran tanah akibat benturan lempeng-lempeng tektonik yang terdapat di dalam lapisan permukaan bumi. Ilmu yang mempelajari mekanisme terjadinya gempa serta gelombang yang ditimbulkannya adalah seismologi. Dalam dunia konstruksi gempa bumi memberikan data dan informasi yang akurat untuk suatu perencanaan agar dapat memperkirakan kekuatan bangunan untuk menahan bangunan tersebut. Pada analisis potensi likuifaksi, digunakan beberapa parameter gempa, adapun penjelasannya sebagai berikut.

3.3.1. Percepatan Muka Tanah Puncak pada Batuan Dasar (PGA)

Nilai Percepatan Puncak pada Bantuan Dasar (PGA) dapat dilihat dalam SNI-1726-2019 tentang Cara Pelaksanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, adapun peta gempa yang dipertimbangkan rata – rata geometric (MCE_G) wilayah Indonesia adalah pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3. 4 Rentang Nilai PGA Wilayah Indonesia

(Sumber: SNI-1726, 2019)

Dalam SNI 1726-2019 dijelaskan bahwa potensi likuifaksi perlu dievaluasi terhadap percepatan tanah pada puncak situs, magnitudo gempa, dan karakteristik sumber gempa yang konsisten dengan percepatan puncak gempa maksimum yang dipertimbangkan (MCE_G). Rumus untuk mencari percepatan tanah sesuai dengan pengaruh klasifikasi situs tertera pada Persamaan 3.9 berikut.

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA \quad (3.9)$$

Keterangan:

PGA_M = MCE_G Percepatan tanah yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs

F_{PGA} = Koefisien situs (Tabel 3.1)

PGA = Percepatan tanah puncak terpetakan

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka diklasifikasikan sebagai kelas situs SA, SB, SC, SD, SE, atau SF. Adapun koefisien situs ini mengacu pada SNI-1726 Tahun 2019. Koefisien situs dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Koefisien Situs FPGA

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

Kelas situs yang ada pada Tabel 3.1 merupakan jenis tanah, yang dijelaskan dalam Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Penjelasan Kelas Situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{60}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

3.3.2. Kekuatan Gempa

Besaran yang digunakan untuk kekuatan gempa merupakan *Moment Magnitude* (M_w). M_w adalah besarnya ukuran gempa berdasarkan momen seismik. Dalam menentukan nilai *Magnitude Scaling Factor* (MSF), yakni besarnya energi seismik yang berasal dari gempa dapat ditentukan dengan rumus Persamaan 3.10 berikut.

$$MSF = \left(\frac{M_w}{7,5} \right)^{-1,8} \quad (3.10)$$

Dengan:

MSF = Faktor pengali magnitudo gempa

M_w = *Moment Magnitude*

3.4 Metode Untuk Menganalisis Potensi Likuifkasi

Dalam Menganalisis suatu daerah berpotensi likuifaksi atau tidak, dapat dilakukan dengan cara uji laboratorium, yakni dengan membawa sampel tanah untuk diuji, dan juga bisa dilakukan dengan cara pendekatan perhitungan yang mengacu pada data hasil uji penyelidikan tanah. Pada tugas akhir ini, penulis melakukan analisis menggunakan pendekatan perhitungan berdasarkan data *Standart Penetration Test* (N-SPT). Cara untuk menganalisis potensi likuifaksi berdasarkan data N-SPT dengan mendapatkan nilai faktor keamanan yang merupakan perbandingan antara nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dengan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR). Nilai CRR dapat diartikan sebagai nilai ketahanan tanah terhadap likuifaksi, sedangkan nilai CSR merupakan perbandingan antara tegangan geser rata – rata yang disebabkan oleh gempa bumi terhadap tegangan vertikal efektif pada suatu lapisan tanah. Nilai faktor keamanan yang akan digunakan tidak boleh kurang dari satu, karena nilai kurang dari satu tanah berpotensi mengalami likuifaksi. Nilai faktor aman yang digunakan didefinisikan berdasarkan Persamaan 3.11 berikut yakni persamaan Youd dan Idriss (2001).

$$SF = \frac{CRR}{CSR} \quad (3.11)$$

Jika Nilai $SF = \frac{CRR}{CSR} < 1$ (berpotensi likuifaksi)

Jika Nilai $SF = \frac{CRR}{CSR} = 1$ (kondisi kritis terlikuifaksi)

Jika Nilai $SF = \frac{CRR}{CSR} > 1$ (tidak berpotensi likuifaksi)

3.5 Perhitungan Nilai *Cyclic Stress Ratio*

Nilai *Cyclic Stress Ratio* atau yang disingkat menjadi nilai CSR adalah nilai tegangan siklik yang diakibatkan oleh gempa bumi. Perhitungan nilai CSR digunakan berdasarkan metode Seed dan Idriss (1971) yang diformulasikan dengan rumus sebagaimana pada Persamaan 3.12 berikut.

$$CSR = \left(\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} \right) = 0,65 \left(\frac{a_{maks}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{vc}}{\sigma'_{vc}} \right) \cdot r_d \quad (3.12)$$

Dengan:

CSR = Nilai *Cyclic Stress Ratio*

a_{maks} = Percepatan puncak horizontal pada tanah akibat gempa di batuan dasar,

g = Percepatan gravitasi bumi,

σ_{vc} = Tegangan total vertikal saat terjadi konsolidasi (kN/m^2),

σ'_{vc} = Tegangan efektif vertikal saat terjadi konsolidasi (kN/m^2).

r_d = Koefisien Tegangan Reduksi

Nilai 0,65 pada rumus CSR didapat dengan asumsi tegangan geser seragam ekuivalen merupakan 65% dari tegangan geser maksimum yang dihasilkan oleh gempa. Adapun Penjelasan parameter – parameter pada nilai CSR adalah sebagai berikut.

1. Percepatan puncak horizontal akibat gempa (a_{maks})

Nilai percepatan puncak horizontal akibat gempa atau disebut a_{maks} dapat ditentukan dengan menggunakan peta gempa 2019 berdasarkan pada SNI-1726-2019 yang merujuk pada Gambar 3.3 diatas. Nilai percepatan puncak horizontal akibat gempa dapat ditentukan sesuai dengan warna yang tertera pada lokasi pengujian dan disesuaikan dengan nilai yang ada pada keterangan peta gempa tersebut.

2. Koefisien tegangan reduksi (r_d)

Koefisien tegangan reduksi adalah nilai yang dapat mempengaruhi tegangan tanah. Koefisien tegangan reduksi dapat ditentukan berdasarkan persamaan (Liao dan Whiteman, 1986) yakni pada Persamaan 3.13.a sampai 3.13.d berikut.

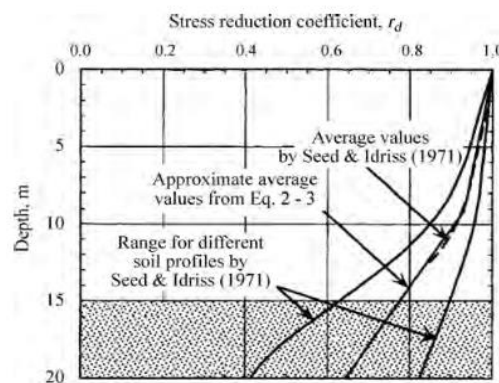
$$r_d = 1,0 - 0,00765z \quad \text{untuk } z \leq 9,15 \text{ m} \quad (3.13.a)$$

$$r_d = 1,174 - 0,0267z \quad \text{untuk } 9,15 \leq z \leq 23 \text{ m} \quad (3.13.b)$$

$$r_d = 0,744 - 0,008z \quad \text{untuk } 23 \leq z \leq 30 \text{ m} \quad (3.13.c)$$

$$r_d = 0,5z \quad \text{untuk } z \geq 23 \text{ m} \quad (3.13.d)$$

Gambar 3.5 merupakan grafik nilai r_d terhadap kedalaman,



Gambar 3. 5 Perbandingan r_d terhadap Kedalaman

(Sumber: Acevedo, dkk 2019)

Idriss (1999) melakukan beberapa kali analisis respon parametrik dan nilai r_d menunjukkan fungsi dari kedalaman dan *earthquake magnitude* (M_w) dengan Persamaan 3.14 sebagai berikut.

$$r_d = \exp (\alpha (z) + \beta (z) M) \quad (3.14)$$

dengan nilai α dan β dirumuskan pada Persamaan 3.14.a dan 3.13.b berikut.

$$\alpha (z) = -1,012 - 1,26 \sin (((z)/11,73) + 5,133) \quad (3.14.a)$$

$$\beta (z) = 0,106 + 0,118 \sin (((z)/11,38) + 5,412) \quad (3.14.b)$$

Keterangan:

M = Magnitudo gempa (M_w)

z = kedalaman lapisan tanah yang ditinjau (m)

Persamaan tersebut secara matematik dapat diterapkan hingga kedalaman $z \leq 34$ m, namun karena ketidakpastian nilai r_d , maka persamaan diatas hanya bisa diterapkan pada kedalaman kurang dari 20 m.

Pada Metode Cetin et al. (2004), nilai CSR harus disesuaikan dengan faktor koreksi untuk mengubah *overburden*, tegangan geser statis, dan momen gempa. Adapun untuk rumus CSR pada keadaan 1 atmosfer dijabarkan dalam Persamaan 3.15 berikut.

$$CSR_{\sigma'v = 1atm} = \left(\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} \right) = 0,65 \left(\frac{a_{maks}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{vc}}{\sigma'_{vc}} \right) \cdot r_d \cdot \frac{1}{K_{\sigma} \cdot K_{\alpha} \cdot K_{Mw}} \quad (3.15)$$

Dengan:

$CSR_{\sigma'v = 1atm}$ = Nilai *Cyclic Stress Ratio* pada keadaan 1 atmosfer

a_{maks} = Percepatan puncak horizontal pada tanah akibat gempa di batuan dasar,

g = Percepatan gravitasi bumi,

σ_{vc} = Tegangan total vertikal saat terjadi konsolidasi (kN/m^2),

σ'_{vc} = Tegangan efektif vertikal saat terjadi konsolidasi (kN/m^2).

r_d = Koefisien Tegangan *Reduksi*

K_{σ} = Faktor koreksi tegangan *overburden*

K_{Mw} = Faktor koreksi *moment magnitude*

K_{α} = Faktor koreksi level situs ($\alpha = 0$) pada studi literatur, nilai $K_{\alpha} = 1$

Persamaan 3.16.a dan 3.16.b merupakan rumus mencari faktor koreksi dari rumus $CSR_{\sigma'v = 1atm}$ sebagai berikut.

$$K_{\sigma} = \left(\frac{\sigma'_v}{P_a} \right)^{-0,336} = \left(\frac{\sigma'_v}{P_a} \right)^{-3,958/11,771} = \left(\frac{\sigma'_v}{P_a} \right)^{-0,336} \quad (3.16.a)$$

$$K_{Mw} = \left(\frac{M_w}{7,5} \right)^{-2,324} = \left(\frac{M_w}{7,5} \right)^{-27,352/11,771} = \left(\frac{M_w}{7,5} \right)^{-2,324} \quad (3.16.b)$$

Dengan:

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

P_a = Tekanan atmosfer (101,3 kPa)

M_w = *Moment magnitude*

Sedangkan dalam metode HBF (2012), nilai CSR dipengaruhi oleh nilai *Magnitude Scaling Factor* (MSF). Sehingga rumus CSR dijabarkan dalam Persamaan 3.17 berikut.

$$CSR = \left(\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} \right) = 0,65 \left(\frac{a_{maks}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{vc}}{\sigma'_{vc}} \right) \cdot \left(\frac{r_d}{MSF} \right) \quad (3.17)$$

Dengan:

CSR = Nilai *Cyclic Stress Ratio*

a_{maks} = Percepatan puncak horizontal pada tanah akibat gempa di batuan dasar,

g = Percepatan gravitasi bumi,

σ_{vc} = Tegangan total vertikal saat terjadi konsolidasi (kN/m²),

σ'_{vc} = Tegangan efektif vertikal saat terjadi konsolidasi (kN/m²).

r_d = Koefisien Tegangan Reduksi

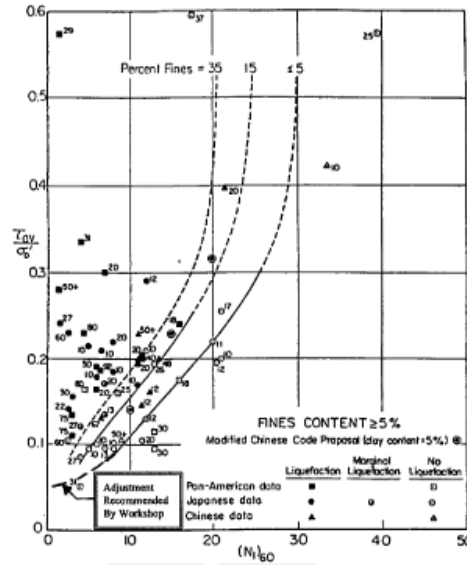
MSF = *Magnitude Scalling Factor*

3.6 Perhitungan Nilai *Cyclic Resistance Ratio*

Nilai *Cyclic Resistance Ratio* atau nilai CRR dapat dianalisis berdasarkan uji laboratorium maupun data hasil penyelidikan tanah di lapangan. Adapun dalam pembahasan tugas akhir ini, nilai CRR akan dihitung berdasarkan data *Standart Penetration Test* atau data N-SPT dengan metode Seed et al. (1985), cetin et al. (2004), dan *Hyperbolic Function* atau HBF (2012).

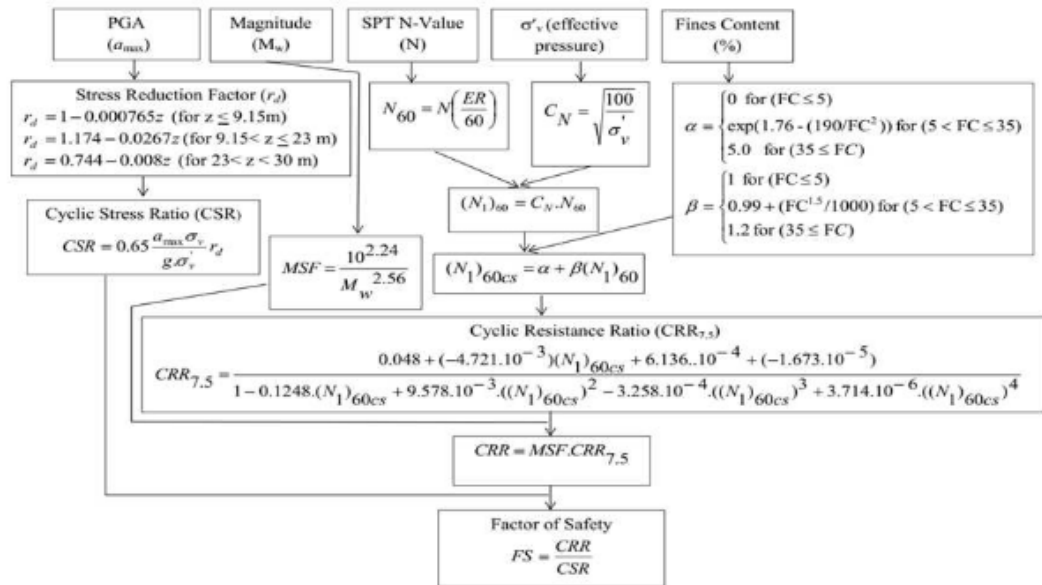
3.6.1. Metode Seed et al. (1985)

Likuifaksi menggunakan data N-SPT yang dikemukakan oleh Seed, Tokimatsu, Harder, dan Chung (1984 dan 1985) adalah korelasi besar pertama dan merupakan preferensi yang dipilih dari NCEER *Working Group* (Youd et al., 2001), dan masih digunakan sampai saat ini. Adapun dasar penelitian yang dilakukan seed et. al (1985) adalah Nilai CSR yang begitu tinggi di wilayah dengan pemicu yang tidak dibatasi dengan baik. Kemudian analisis kinerja lapangan yang sebelumnya berbasis prosedur Seed dan Idriss (1971) akibat bukti yang meningkat akibat korelasi pemicu yang signifikan sebelumnya. Hubungan antara nilai CSR terhadap nilai $(N_1)_{60}$ dimuat dalam Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3. 6 Korelasi Pemicu Likuifaksi Data N-SPT Seed et al (1985)
 (Sumber: Seed, dkk 1985)

Dari Gambar 3.6 dapat dilihat bahwa titik berpotensi likuifaksi dan tidak berdasarkan nilai CSR dan $(N_1)_{60}$, yang dibatasi oleh nilai *finer content* (FC). Adapun metode Seed et al. (1985) dijabarkan dalam Gambar 3.7 Berikut.



Gambar 3. 7 Bagan Alir Metode Seed et al. (1985)
 (Sumber: Mase, L.Z., 2018)

Penjelasan terkait nilai CSR dijelaskan dalam sub bab 3.5. Persamaan 3.18.a, 3.18.b, dan Persamaan 3.19 merupakan rumus Nilai CRR tentang metode Seed et al. (1985) dan rumus untuk mencari MSF.

$$CRR = MSF \cdot CRR_{7,5} \quad (3.18.a)$$

$$CRR_{7,5} = \frac{0,048 + (-4,721 \times 10^{-3}) \cdot (N_{1(60)cs} + 6,136 \cdot 10^{-4} + (-1,673 \cdot 10^{-5}))}{(1 - 0,1248 \cdot N_{1(60)cs}) + (9,578 \cdot 10^{-3} \cdot (N_{1(60)cs})^2) - (3,528 \cdot 10^{-4} \cdot (N_{1(60)cs})^3) + (3,714 \cdot 10^{-6} \cdot (N_{1(60)cs})^4)} \quad (3.18.b)$$

$$MSF = \frac{10^{2,24}}{M_w^{2,56}} \quad (3.19)$$

M_w merupakan *moment magnitude*

adapun penjabaran dari rumus CRR adalah sebagai berikut.

1. Nilai N_{60}

Nilai N_{60} merupakan nilai N SPT dengan rasio energi 60% dengan rumus pada Persamaan 3.20 berikut.

$$N_{60} = N \left(\frac{ER}{60} \right) \quad (3.20)$$

Dengan:

N_{60} = N SPT dengan rasio energi 60%

ER = Nilai koreksi rasio energi *hammer* (Tabel 3.4)

2. Nilai $N_{1(60)}$

Nilai $(N_1)_{60}$ merupakan nilai penetrasi *overburden* terkoreksi, adapun rumus untuk mencari nilai tersebut adalah sebagai mana pada Persamaan 3.21 berikut.

$$(N_1)_{60} = C_N \times N_{60} \quad (3.21)$$

Dengan:

$(N_1)_{60}$ = Nilai penetrasi *overburden* terkoreksi

N_{60} = N SPT dengan rasio energi 60%

C_N = Faktor Koreksi tegangan *overburden*

Rumus untuk mencari C_N adalah sebagai berikut ini pada Persamaan 3.22.

$$C_N = \sqrt{\frac{100}{\sigma'_{v}}} \quad (3.22)$$

Keterangan:

C_N = Faktor Koreksi tegangan *overburden*

σ'_v = Tegangan efektif vertikal saat terjadi konsolidasi

3. Nilai $N_{1(60)cs}$

$(N_1)_{60cs}$ merupakan nilai kesetaraan berdasarkan hitungan pukulan SPT yang telah dikoreksi. Adapun rumus untuk mencari nilai tersebut dijabarkan dalam Persamaan 3.23 berikut.

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta(N_1)_{60} \quad (3.23)$$

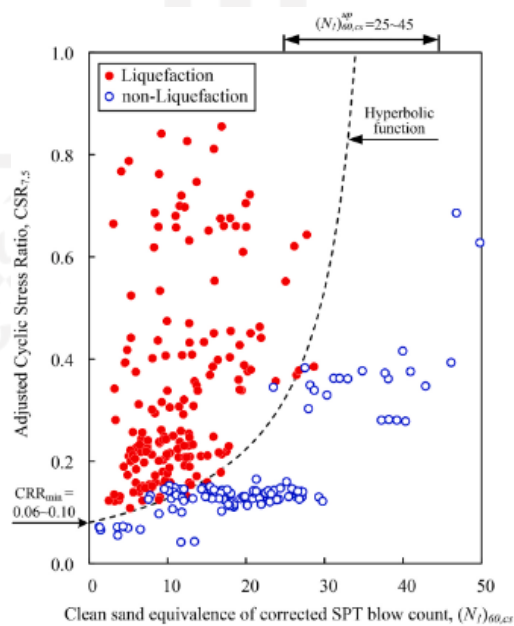
Dengan nilai α dan β sebagai berikut:

$$\alpha \begin{cases} 0 \text{ untuk } (FC \leq 5) \\ \exp(1,76 - (190/FC^2)) \text{ untuk } (5 < FC \leq 35) \\ 5,0 \text{ untuk } (35 \leq FC) \end{cases}$$

$$\beta \begin{cases} 1 \text{ untuk } (FC \leq 5) \\ (0,99 + (FC^{1,5}/1000)) \text{ untuk } (5 < FC \leq 35) \\ 1,2 \text{ untuk } (35 \leq FC) \end{cases}$$

3.6.2. Metode *Hyperbolic Function* (2012)

Metode HBF dibuat pertama kali setelah adanya Gempa Chi Chi di Taiwan (1999) yang dikembangkan berdasarkan uji lapangan di daerah yang terkena dampak gempa tersebut. Model HBF merupakan metode yang disederhanakan dengan mengikuti kerangka metode Seed dan Idriss (1971&1982). Hubungan antara nilai CSR terhadap nilai $(N_1)_{60cs}$ dimuat dalam Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3. 8 Kurva CSR terhadap $(N_1)_{60cs}$

Sumber: J.H. Hwang et al. (2021)

Dalam grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 diatas, nilai CRR berada diantara nilai $CSR_{7,5}$ dan $(N_1)_{60cs}$ dengan batas kisaran nilai antara 25-40. nilai CRR minimal pada fungsi hiperbolik yakni antara 0,06-0,10. CRR merupakan pemisah antara potensi terjadinya likuifaksi atau tidak. Grafik ini diperkenalkan pertama kali oleh Hwang et al, (2012) yang mengacu pada *Japan Road Association* (1996). Nilai CRR Metode HBF diambil berdasarkan jurnal Jin-Hung Hwang (2021) dengan rumus pada Persamaan 3.24 berikut.

$$CRR = A + \frac{B \times (N_1)_{60cs}}{1 - (N_1)_{60cs}/C} \quad (3.24)$$

Nilai A, B, dan C didapat sesuai dengan tabel parameter koefisien pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3. 3 Parameter Koefisien Metode HBF

Version of HBF	Model Parameters		
	A	B	C
Hwang et al (2012)	0,08	0,0035	39
<i>This Study (best regression)</i>	0,074	0,0042	42,496
<i>This Study (recommendation)</i>	0,07	0,0042	42

Sumber: J.H. Hwang et al. (2021)

Sehingga rumus dari nilai CRR sebagaimana pada persamaan 3.25 berikut.

$$CRR = 0,08 + \frac{0,0035 \times (N_1)_{60cs}}{1 - (N_1)_{60cs}/39} \quad (3.25)$$

Dengan $(N_1)_{60cs}$ merupakan nilai kesetaraan berdasarkan hitungan pukulan SPT yang telah dikoreksi.

Adapun prosedur untuk menentukan nilai CRR dengan metode HBF sebagai berikut.

1. Nilai N_{60}

Rumus untuk mencari nilai N_{60} sebagaimana pada Persamaan 3.26 berikut

$$N_{60} = N_m C_E C_B C_R C_S \quad (3.26)$$

Keterangan,

N_m adalah nilai pembacaan N-SPT saat di lapangan,

C_E adalah nilai koreksi rasio energi *hammer* (ER),

C_B adalah nilai koreksi untuk diameter lubang bor,

C_R adalah faktor koreksi panjang tiang,

C_S adalah nilai koreksi untuk sampel.

Nilai – nilai pada rumus diatas diambil berdasarkan Tabel 3.4 nilai koreksi yang digunakan dalam uji lapangan SPT sebagai berikut.

Tabel 3. 4 Nilai Koreksi

Faktor	Deskripsi	Parameter	Koreksi
Rasio energi	ER merupakan rasio tenaga maksimum dalam %	C_E	$C_E = ER/60$
Rasio energi	Palu donat (<i>Donut hammer</i>)	C_E	0,5 s/d 1,0
Rasio energi	Palu pengaman (<i>Safety hammer</i>)	C_E	0,7 s/d 1,2
Rasio energi	Palu otomatis (<i>Automatic triphammer</i>)	C_E	0,8 s/d 1,3
Diameter bor	65 s/d 115 mm	C_B	1,00
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	0,80
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	1,00
Pengambilan contoh	Tabung standar	C_S	1,00
Pengambilan contoh	Tabung dengan pelapis	C_S	1,1 s/d 1,3

Sumber: I.M Idriss dan R.W. Boulanger, (2008)

2. Nilai $(N_1)_{60}$

Nilai $(N_1)_{60}$ merupakan nilai penetrasi *overburden* terkoreksi dengan rumus yang ada pada Persamaan 3.27 berikut.

$$(N_1)_{60} = \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'_v}} \times N_{60} \quad (3.27)$$

Keterangan,

$(N_1)_{60}$ = Nilai penetrasi *overburden* terkoreksi

P_a = tekanan pada 1 atm, atau setara dengan 101,3 kN/m²

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

N_{60} = Nilai N-SPT dengan rasio energi 60%

3. Nilai $(N_1)_{60\text{ cs}}$

$(N_1)_{60\text{ cs}}$ merupakan nilai kesetaraan berdasarkan hitungan pukulan SPT yang telah dikoreksi dengan rumus pada Persamaan 3.28 sebagai berikut.

$$(N_1)_{60\text{ cs}} = k_s \times (N_1)_{60} \quad (3.28)$$

Keterangan,

$(N_1)_{60\text{ cs}}$ = Nilai kesetaraan berdasarkan hitungan pukulan SPT terkoreksi

$(N_1)_{60}$ = Nilai penetrasi *overburden* terkoreksi

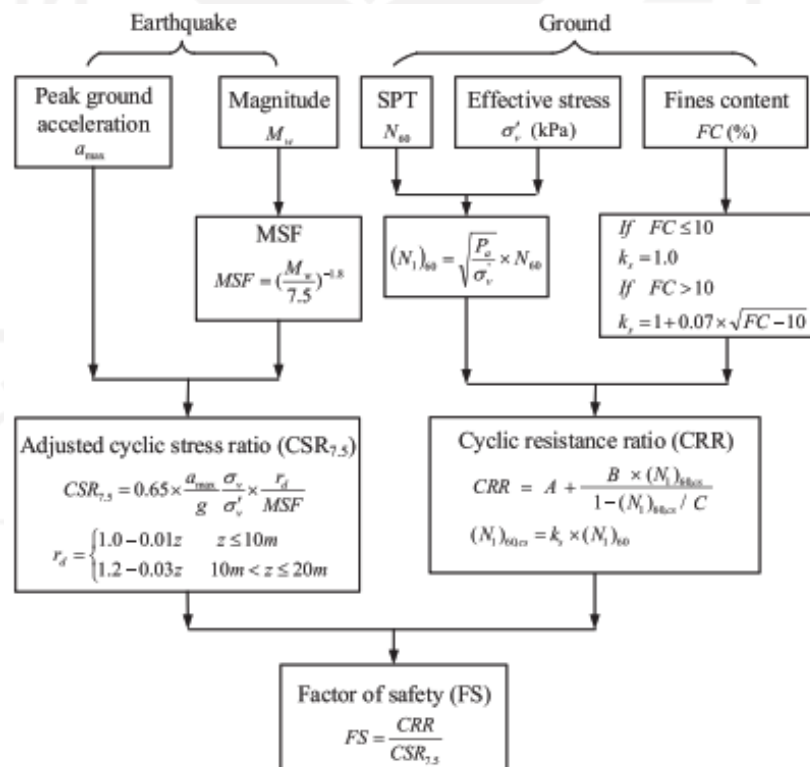
k_s = Koefisien koreksi untuk butiran berdasarkan nilai *Fines Content* (FC)

Nilai k_s dapat ditentukan dengan rumus pada Persamaan 3.29 berikut.

FC \leq 10 maka $k_s = 1,0$

Bila nilai FC \geq 10, maka $k_s = 1 + 0,07 \times \sqrt{FC - 10}$ (3.29)

Gambar 3.7 menunjukkan prosedur perhitungan nilai faktor aman dengan Metode HBF berdasarkan jurnal Jin-Hung Hwang (2021).

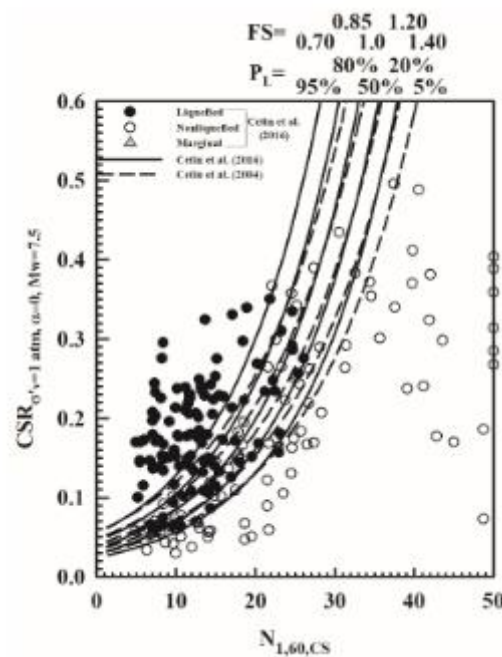


Gambar 3. 9 Metode Hyperbolic Function

Sumber: J.H. Hwang et al. (2021)

3.6.3. Metode Cetin et al (2004)

Metode Cetin et al pertama kali dikenalkan pada tahun 2004, dengan berlandaskan dari metode Seed et al. (1985). Metode ini menyajikan data yang terdiri dari 200 kasus dengan kualitas yang tinggi. Dengan metode ini, kurva pemicu likuifaksi tanah berbasis probabilitas. Gambar 3.8 merupakan Kurva dari perbandingan metode Cetin et al 2004 dan 2016.



Gambar 3. 10 Perbandingan Kurva nilai CRR Cetin et al 2004 dan 2016
(Sumber: Cetin et al, 2016)

Grafik pada Gambar 3.7 merupakan korelasi antara nilai CSR dan $N_{1,60,CS}$. Batas antara daerah terluifaksi atau tidak dipisahkan oleh nilai CRR yang dibandingkan antara Cetin et al. (2004) dan cetin et al. (2016). Perhitungan nilai CRR dengan metode ini mengacu pada jurnal Cetin et al. (2016). Adapun rumus untuk menentukan nilai CRR dengan metode ini ada pada Persamaan 3.30 berikut.

$$CRR = \exp \left[\frac{N_{1,60} \cdot (1 + \theta_1 \cdot FC) - \theta_2 \cdot \ln(M_w) - \theta_3 \cdot \ln\left(\frac{\sigma'v}{P_a}\right) + \theta_4 \cdot FC + \theta_5 + \sigma_\epsilon \Phi^{-1}(PL)}{\theta_6} \right] \quad (3.30)$$

Dengan koefisien model yang keadaan dalam Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3. 5 Nilai Koefisien Model Metode Cetin et al.

Model Coefficients	Cetin et al. (2004)	Cetin et al. (2016)
θ_1	0.004	0.00167
θ_2	29.530	27.352
θ_3	3.700	3.958
θ_4	0.050	0.089
θ_5	16.850	16.084
θ_6	13.320	11.771
θ_7	-	0.392
σ_c	2.70	2.95

Sumber: Cetin et al. (2016)

Berdasarkan nilai koefisien dan penyederhanaan nilai PL, Pada paparan jurnal Jin Hung Hwang (ICEEDM 2019) rumus nilai CRR metode Cetin et al adalah sebagaimana pada persamaan 3.23 berikut.

$$CRR = \exp \left[\frac{(N_{1(60)} \cdot (1 + 0,004 \cdot FC) - 29,53 \cdot \ln(M_w) - 3,7 \cdot \ln\left(\frac{\sigma'_v}{P_a}\right) + 0,005 \cdot FC + 16,85 + 2,7 \Phi^{-1}(0,15,0,1))}{13,32} \right] \quad (3.31)$$

Adapun untuk mencari nilai $N_{1(60)}$ dijabarkan dalam Persamaan 3.32 berikut.

$$N_{1(60)} = N \cdot C_N \cdot C_R \cdot C_S \cdot C_B \cdot C_E \quad (3.32)$$

Dengan:

$(N_{1(60)})$ = Nilai penetrasi *overburden* terkoreksi

C_N = Faktor Koreksi tegangan *overburden*

N_m = Nilai pembacaan N-SPT saat di lapangan,

C_E = Nilai koreksi rasio energi *hammer* (ER),

C_B = Nilai koreksi untuk diameter lubang bor,

C_R = faktor koreksi panjang tiang,

C_S = Nilai koreksi untuk sampel.

Φ = Nilai Distribusi Standar Kumulatif

Pada Excel, *command* untuk spesifikasi fungsi nilai distribusi standar kumulatif adalah “NORMINV(PL,0,1)”

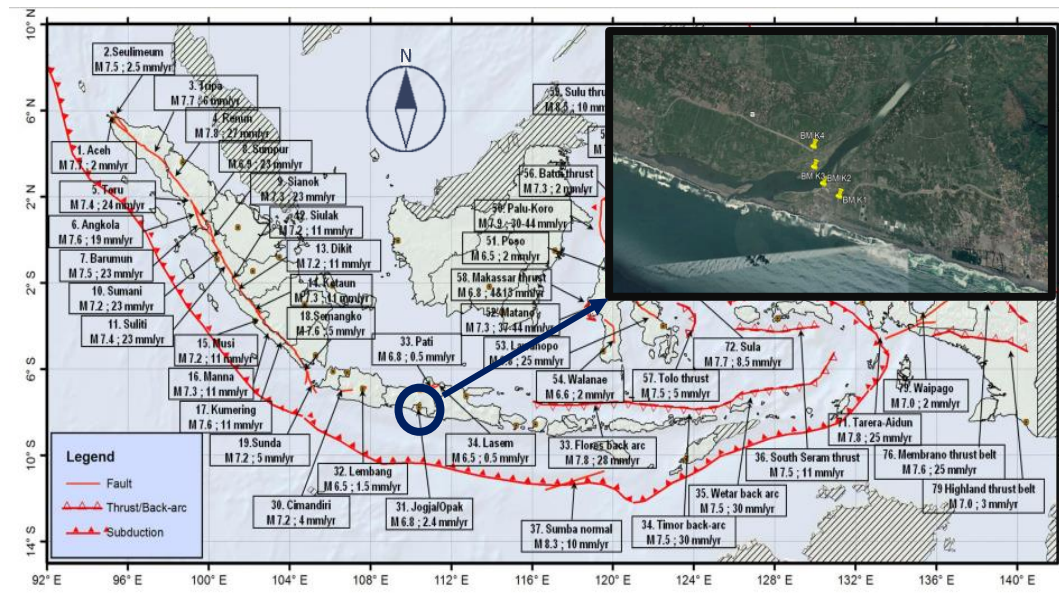
BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Uraian Umum Penelitian

Penelitian yang berjudul “Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Pengaruh Gempa Studi Kasus Proyek Jembatan Kretek II Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta” dilakukan dengan analisis pengolahan data menggunakan metode Seed et al. (1985), Cetin et al. (2004) dan HBF (2012), yang telah ditinjau sesuai dengan magnitudo gempa (M_w) yang digunakan. Hasil Akhir dari penelitian ini adalah mengetahui bagaimana pengaruh variasi magnitudo gempa terhadap potensi likuifaksi berdasarkan perbandingan nilai CRR dengan nilai CSR. *Output* dari perhitungan analisis potensi likuifaksi dituangkan dalam bentuk grafik.

4.2 Lokasi Penelitian

Adapun lokasi penelitian ini dilakukan pada Proyek Jembatan Kretek II Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi penelitian ditampilkan berdasarkan *google earth* dengan titik *Bench Mark* yang telah disesuaikan dengan data penyelidikan lapangan. Tinjauan untuk penelitian ini dilakukan pada 3 titik pengeboran penyelidikan tanah yakni pada titik BM-K1, BM-K2, dan BM-K3. Gambar 4.1 menunjukkan denah dari lokasi penelitian yang diambil berdasarkan Peta Gempa Indonesia 2017.



Gambar 4. 1 Denah Lokasi Penyelidikan Tanah Jembatan Kretek II

(Sumber: Irsyam, M. 2017)

4.3 Tahapan Penelitian

Tahapan dari penelitian ini merupakan suatu proses untuk melaksanakan proses secara terstruktur agar penelitian tugas akhir ini dapat berjalan dengan baik. Pada penelitian ini dibagi kedalam 3 tahapan dengan uraian sebagai berikut.

4.3.1 Pengumpulan Data

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan data sekunder dengan mengumpulkan data – data, seperti data *properties* tanah, dan hasil penyelidikan tanah berupa data N-SPT, yang berlokasi di titik – titik *Bench mark* (BM) pada lokasi proyek Jembatan Kretek II. Setelah itu mencari studi literatur terkait kegempaan yang terjadi di Yogyakarta khususnya pada tahun 2006 dan 2010, dan mencari Peta Bahaya Gempa yang ada dalam SNI-1726-2019.

4.3.2 Analisis Data

Analisis data berdasarkan data N-SPT dilakukan dengan cara membandingkan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) yang kemudian didapatkan nilai faktor aman dan dapat di ambil kesimpulan bagaimana pengaruh dari beban magnitudo gempa yang telah ditentukan pada

batasan masalah terhadap potensi likuifaksi yang terjadi pada Jembatan Kretek II Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Adapun langkah – langkah dalam menganalisis potensi likuifaksi dengan data N-SPT sebagai berikut.

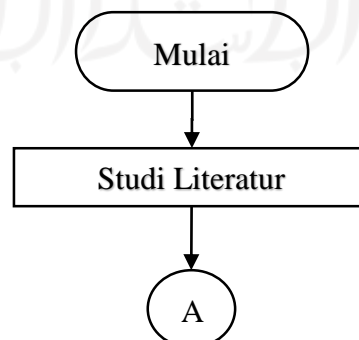
1. Perhitungan percepatan gempa di permukaan tanah sesuai dengan SNI-1726-2019,
2. Membaca data hasil penyelidikan tanah dan ketinggian muka air tanah pada hasil penyelidikan N-SPT, kemudian mencari nilai N terkoreksi.
3. Melakukan perhitungan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) sesuai dengan persamaan pada rumus 3.13,
4. Melakukan perhitungan nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) menggunakan data *properties* tanah dan data N-SPT lapangan dengan metode Seed et al (1985), Cetin et al (2004) dan metode HBF (2012),
5. Menghitung nilai faktor keamanan (FS) dengan membandingkan nilai CSR dan CRR yang mengacu pada Persamaan 3.11.

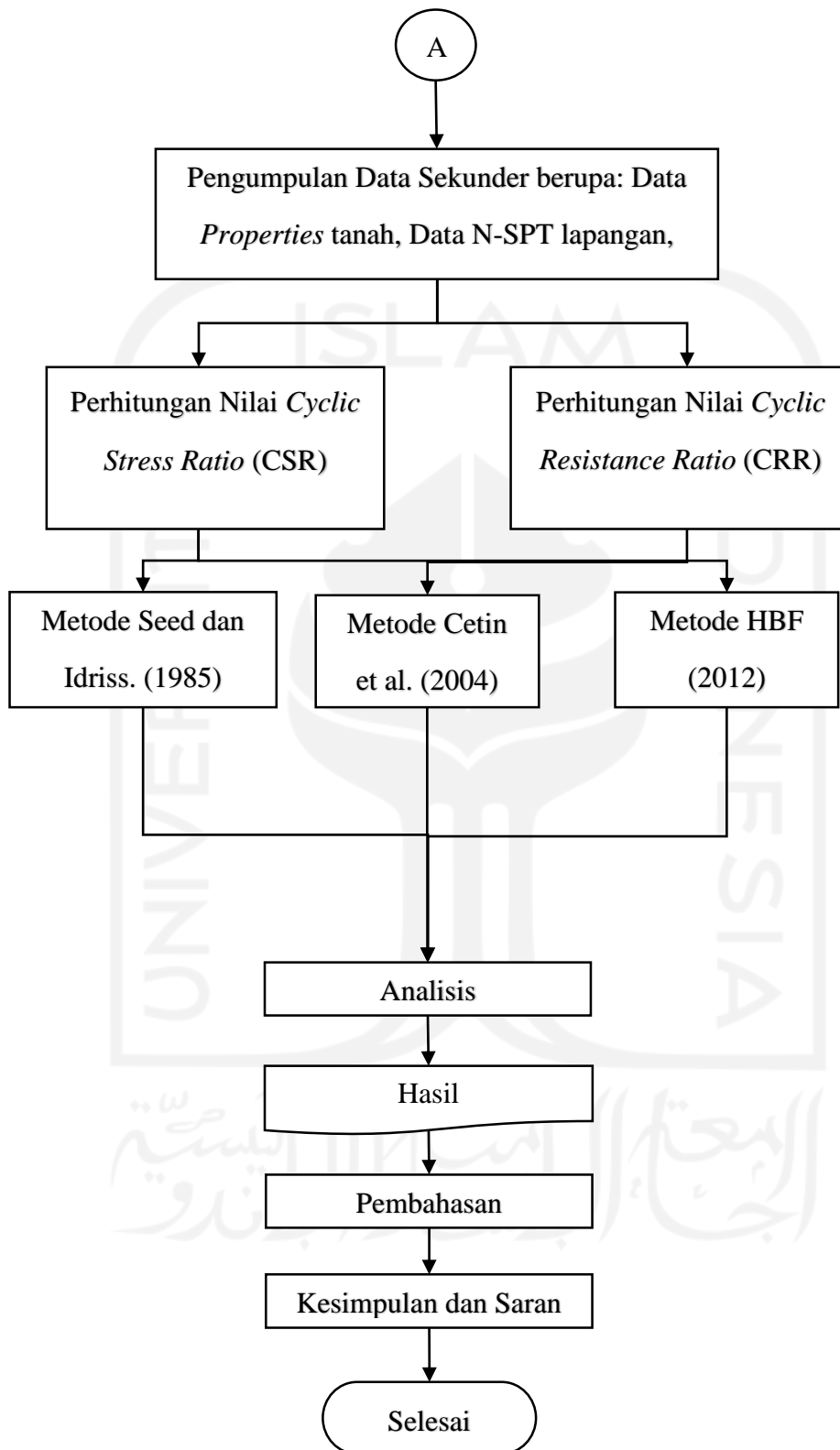
4.3.3 Tahap Penulisan dan Kesimpulan

Penulisan Laporan Tugas Akhir dilakukan sesuai dengan kaidah dan persyaratan yang telah diatur pada Panduan Tugas Akhir program studi Teknik Sipil S1 Universitas Islam Indoneisa. Kemudian ditarik kesimpulan berdasarkan analisis yang telah dilakukan.

4.4 Bagan Alir Penelitian

Adapun bagan alir (*flow chart*) dapat dilihat dalam Gambar 4.3 berikut.





Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian Tugas Akhir

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Pada bab 5 akan dijabarkan mengenai alur analisis potensi likuifaksi menggunakan 3 metode yang telah diuraikan pada landasan teori. Adapun analisis ini meliputi perhitungan nilai percepatan gempa, koreksi nilai N, tegangan vertikal efektif, nilai CRR, nilai CSR, dan nilai *Safety Factor* (SF). Hasil analisis yang telah dilakukan akan dijelaskan dalam bentuk grafik.

5.1.1 Data Tes Lapangan N-SPT

Data Tes Lapangan yang digunakan untuk penelitian ini berada di Jembatan Kretek II Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta. Data N-SPT yang dijadikan objek penelitian merupakan titik *Bench Mark* (BM) yang telah dilakukan pengeboran penyelidikan tanah. Adapun titik yang digunakan adalah titik BM-K1, BM-K2, dan BM-K3 yang dapat dilihat pada Lampiran 1. Kedalaman pengeboran untuk data N-SPT mencapai 54 meter. Gambar 5.1 merupakan salah satu contoh hasil pengujian SPT lapangan, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 2. Selain data lapangan, diperlukan data *properties* tanah.

No	Kedalaman (m)	Titik BM 1		Titik BM 2		Titik BM 3		Titik BM 4	
		Penetrasi	Nilai N_{SPT}	Penetrasi	Nilai N_{SPT}	Penetrasi	Nilai N_{SPT}	Penetrasi	Nilai N_{SPT}
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	30	43	30	33	30	24	30	30
3	4	30	42	30	36	30	8	30	26
4	6	30	59	26	60	30	32	30	28
5	8	29	60	30	56	30	42	30	58
6	10	30	48	30	29	25	60	30	39
7	12	30	18	30	47	30	60	30	39
8	14	19	60	30	27	30	32	30	21
9	16	30	54	30	44	30	25	30	33
10	18	30	20	30	12	30	45	24	60
11	20	30	18	30	10	21	60	30	27
12	22	30	21	30	17	30	21	30	44
13	24	30	39	30	33	30	27	30	51
14	26	30	35	30	30	30	20	30	55
15	28	30	24	30	34	30	44	18	60
16	30	30	24	30	51	30	32	30	46
17	32	30	22	30	31	30	30	30	41
18	34	30	19	30	46	30	45	30	26
19	36	30	22	24	60	30	35	30	25
20	38	30	39	30	40	30	33	30	30
21	40	30	26	30	38	30	30	30	42
22	42	30	27	30	39	30	34	30	53
23	44	30	21	30	60	30	43	30	57
24	46	30	22	30	53	30	45	30	57
25	48	30	32	30	60	30	48	28	60
26	50	30	30	30	60	29	60	30	59
27	52	30	36	30	48	30	57	30	54
28	54	30	35	30	55	30	56	30	55

Gambar 5. 1 Nilai SPT Lapangan

(Sumber: Laporan Penyelidikan Tanah Proyek Jembatan Kretek II Bantul, 2016)

5.1.2 Penentuan Nilai Percepatan Gempa di Muka Tanah pada Batuan Dasar

Pada perhitungan analisis potensi likuifaksi diperlukan nilai percepatan gempa (PGA) untuk menentukan faktor keamanan pada titik penelitian karena nilai PGA mempengaruhi kekuatan tanah dalam menahan beban siklik yang terjadi akibat gempa bumi. Dalam SNI-1726-2019 tentang cara pelaksanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, dengan peta gempa yang mempertimbangkan rata – rata geometrik (MCE_G) tertera dalam Gambar 3.4, dapat ditentukan nilainya berdasarkan zonasi. Nilai a_{maks} ditentukan dari nilai PGA_M , berdasarkan Persamaan 3.9, rumus untuk mencari nilai PGA_M adalah sebagai berikut.

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA$$

Nilai PGA pada Jembatan Kretek II Bantul didapat 0,5 g, kemudian nilai F_{PGA} berdasarkan Tabel 3.1 tentang koefisien situs F_{PGA} terbagi menjadi 2, yakni

1,1 dan 1,2, karena pada nilai N antara 15-50 termasuk kedalam klasifikasi tanah sedang (SD) dan nilai $N > 50$ termasuk kedalam klasifikasi tanah sangat padat dan batuan lunak (SC) sehingga nilai amaks adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} a_{\text{maks1}} &= PGAM \\ &= F_{PGA} \cdot PGA \\ &= 1,1 \cdot 0,5 \\ &= 0,55 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{\text{maks2}} &= PGAM \\ &= F_{PGA} \cdot PGA \\ &= 1,2 \cdot 0,5 \\ &= 0,6 \end{aligned}$$

Sehingga pada N antara 15 sampai 50, nilai amaks adalah 0,55, sedangkan nilai $N > 50$ adalah 0,6

5.1.3 Analisis Data SPT Lapangan

Dalam melakukan penelitian, digunakan program Microsoft Excel untuk menganalisis faktor aman dari data yang didapatkan di lapangan. Berikut merupakan analisis data BM-K1 kedalaman 2, 4, dan 6 m sebagai contoh perhitungan analisis data SPT.

Kedalaman Lapisan	: 22 m
Muka air tanah	: 1,80 m
Berat volume air (γ_w)	: 9,81 kN/m ³
Percepatan gravitasi (g)	: 9,81 m/s ²
Tekanan atmosfer (P_a)	: 101,3 kPa

1. Tegangan efektif vertikal (σ'_v)

- a. Kedalaman 2 meter

$$\begin{aligned} \text{Tegangan total } (\sigma_{v1}) &= h \times \gamma \\ &= 2 \times 17,849 \\ &= 35,697 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

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

$$= (2 - 1,8) \times 9,81$$

$$= 1,962 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tegangan efektif } (\sigma'_v) = \sigma_{v1} - u$$

$$= 35,697 - 1,962$$

$$= 33,735 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{v1} / \sigma'_v = 36,697 / 33,735$$

$$= 1,058$$

b. Kedalaman 4 meter

$$\text{Tegangan total } (\sigma_{v2}) = \sigma_{v1} + (h \times \gamma)$$

$$= 35,697 + (2 \times 17,849)$$

$$= 71,395 \text{ kN/m}^2$$

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

$$= (4 - 1,8) \times 9,81$$

$$= 21,582 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tegangan efektif } (\sigma'_v) = \sigma_{v2} - u$$

$$= 71,395 - 21,582$$

$$= 49,813 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{v2} / \sigma'_v = 71,395 / 49,813$$

$$= 1,433$$

c. Kedalaman 6 meter

$$\text{Tegangan total } (\sigma_{v3}) = \sigma_{v2} + (h \times \gamma)$$

$$= 71,395 + (2 \times 17,849)$$

$$= 107,092 \text{ kN/m}^2$$

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

$$= (6 - 1,8) \times 9,81$$

$$= 41,202 \text{ kN/m}^2$$

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

$$= 107,092 - 41,202$$

$$= 65,890 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{v3} / \sigma'_v = 107,092 / 65,890$$

$$= 1,625$$

Adapun hasil rekapitulasi perhitungan tegangan efektif vertikal dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tegangan Efektif Vertikal (σ'_v) Pada Titik BM-K1

Kedalaman (H) (m)	Penetrasi cm	N SPT Pukulan/30cm	γ (gr/cm ³)	γ (kN/m ³)	σ_v (kN/m ²)	γ_w (kN/m ³)	μ (kN/m ²)	σ'_v (kN/m ²)	σ_v/σ'_v (kN/m ²)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	30	43	1,820	17,849	35,697	9,810	1,962	33,735	1,058
4	30	42	1,820	17,849	71,395	9,810	21,582	49,813	1,433
6	30	59	1,820	17,849	107,092	9,810	41,202	65,890	1,625
8	30	60	1,820	17,849	142,790	9,810	60,822	81,968	1,742
10	30	48	1,820	17,849	178,487	9,810	80,442	98,045	1,820
12	30	18	1,746	17,123	212,733	9,810	100,062	112,671	1,888
14	30	60	1,746	17,123	246,979	9,810	119,682	127,297	1,940
16	30	54	1,746	17,123	281,226	9,810	139,302	141,924	1,982
18	30	20	1,746	17,123	315,472	9,810	158,922	156,550	2,015
20	30	19	1,774	17,398	350,267	9,810	178,542	171,725	2,040
22	30	21	1,774	17,398	385,062	9,810	198,162	186,900	2,060

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tegangan Efektif Vertikal (σ'_v) Pada Titik BM-K2

Kedalaman (m)	Penetrasi cm	N SPT Pukulan/30cm	γ (gr/cm ³)	γ (kN/m ³)	σ_v (kN/m ²)	γ_w (kN/m ³)	μ (kN/m ²)	σ'_v (kN/m ²)	σ_v/σ'_v (kN/m ²)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	30	33	1,783	17,486	34,972	9,810	1,962	33,010	1,059
4	30	36	1,783	17,486	69,944	9,810	21,582	48,362	1,446
6	30	60	1,783	17,486	104,915	9,810	41,202	63,713	1,647
8	30	56	1,783	17,486	139,887	9,810	60,822	79,065	1,769
10	30	29	1,783	17,486	174,859	9,810	80,442	94,417	1,852
12	30	47	1,783	17,486	209,831	9,810	100,062	109,769	1,912
14	30	27	1,807	17,721	245,273	9,810	119,682	125,591	1,953
16	30	44	1,807	17,721	280,716	9,810	139,302	141,414	1,985
18	30	12	1,807	17,721	316,158	9,810	158,922	157,236	2,011
20	30	10	1,807	17,721	351,601	9,810	178,542	173,059	2,032
22	30	17	1,807	17,721	387,043	9,810	198,162	188,881	2,049

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tegangan Efektif Vertikal (σ'_v) Pada Titik BM-K3

Kedalaman (m)	Penetrasi cm	N SPT Pukulan/30cm	γ (gr/cm ³)	γ (kN/m ³)	σ_v (kN/m ²)	γ_w (kN/m ³)	μ (kN/m ²)	σ'_v (kN/m ²)	σ_v/σ'_v (kN/m ²)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	30	24	1,825	17,898	35,796	9,810	11,772	24,024	1,490
4	30	8	1,825	17,898	71,591	9,810	31,392	40,199	1,781
6	30	32	1,825	17,898	107,387	9,810	51,012	56,375	1,905
8	30	42	1,825	17,898	143,182	9,810	70,632	72,550	1,974
10	30	60	1,825	17,898	178,978	9,810	90,252	88,726	2,017
12	30	60	1,825	17,898	214,773	9,810	109,872	104,901	2,047
14	30	32	1,825	17,898	250,569	9,810	129,492	121,077	2,070
16	30	25	1,784	17,496	285,560	9,810	149,112	136,448	2,093
18	30	45	1,784	17,496	320,552	9,810	168,732	151,820	2,111
20	30	60	1,680	16,476	353,503	9,810	188,352	165,151	2,140
22	30	21	1,680	16,476	386,455	9,810	207,972	178,483	2,165

2. Nilai $N_{1(60)}$

a. Metode Seed et. al (1985)

1) Kedalaman 2 meter

$$N_{1(60)} = N_{60} \times C_N$$

$$\begin{aligned} N_{60} &= N \left(\frac{ER}{60} \right) \\ &= 43 \left(\frac{0,75}{60} \right) \\ &= 0,538 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_N &= \sqrt{\frac{100}{\sigma'v}} \\ &= \sqrt{\frac{100}{33,735}} \\ &= 1,722 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{1(60)} &= 0,538 \times 1,722 \\ &= 0,925 \end{aligned}$$

2) Kedalaman 4 meter

$$N_{1(60)} = N_{60} \times C_N$$

$$\begin{aligned} N_{60} &= N \left(\frac{ER}{60} \right) \\ &= 42 \left(\frac{0,75}{60} \right) \\ &= 0,525 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_N &= \sqrt{\frac{100}{\sigma'v}} \\ &= \sqrt{\frac{100}{49,813}} \\ &= 1,417 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{1(60)} &= 0,525 \times 1,417 \\ &= 0,744 \end{aligned}$$

3) Kedalaman 6 meter

$$N_{1(60)} = N_{60} \times C_N$$

$$\begin{aligned} N_{60} &= N \left(\frac{ER}{60} \right) \\ &= 59 \left(\frac{0,75}{60} \right) \end{aligned}$$

$$= 0,738$$

$$C_N = \sqrt{\frac{100}{\sigma'v}}$$

$$= \sqrt{\frac{100}{65,890}}$$

$$= 1,232$$

$$N_{I(60)} = 0,738 \times 1,232$$

$$= 0,909$$

b. Metode Cetin et. al (2004)

1) Kedalaman 2 meter

$$N_{I(60)} = N_m \times C_N \times C_e \times C_r \times C_s \times C_b$$

$$C_N = \frac{3}{2 + \left(\frac{yV}{\gamma r}\right)}$$

$$= \frac{3}{2 + \left(\frac{33,735}{100}\right)}$$

$$= 1,284$$

$$N_{I(60)} = 43 \times 1,284 \times 0,6 \times 0,75 \times 1 \times 1,05$$

$$= 26,078$$

2) Kedalaman 4 meter

$$N_{I(60)} = N_m \times C_N \times C_e \times C_r \times C_s \times C_b$$

$$C_N = \frac{3}{2 + \left(\frac{yV}{\gamma r}\right)}$$

$$= \frac{3}{2 + \left(\frac{49,813}{100}\right)}$$

$$= 1,201$$

$$N_{I(60)} = 42 \times 1,201 \times 0,6 \times 0,75 \times 1 \times 1,05$$

$$= 23,832$$

3) Kedalaman 6 meter

$$N_{I(60)} = N_m \times C_N \times C_e \times C_r \times C_s \times C_b$$

$$C_N = \frac{3}{2 + \left(\frac{yV}{\gamma r}\right)}$$

$$= \frac{3}{2 + \left(\frac{65,890}{100}\right)}$$

$$= 1,128$$

$$\begin{aligned}
 N_{1(60)} &= 59 \times 1,128 \times 0,6 \times 0,75 \times 1 \times 1,05 \\
 &= 31,454
 \end{aligned}$$

c. Metode HBF (2012)

1) Kedalaman 2 meter

$$\begin{aligned}
 N_{1(60)} &= \sqrt{\frac{Pa}{\sigma'v}} \times Nm \times C_e \times C_r \times C_s \times C_b \\
 &= \sqrt{\frac{101,3}{33,735}} \times 43 \times 0,6 \times 0,75 \times 1 \times 1,05 \\
 &= 35,207
 \end{aligned}$$

2) Kedalaman 4 meter

$$\begin{aligned}
 N_{1(60)} &= \sqrt{\frac{Pa}{\sigma'v}} \times Nm \times C_e \times C_r \times C_s \times C_b \\
 &= \sqrt{\frac{101,3}{49,813}} \times 42 \times 0,6 \times 0,75 \times 1 \times 1,05 \\
 &= 28,300
 \end{aligned}$$

3) Kedalaman 6 meter

$$\begin{aligned}
 N_{1(60)} &= \sqrt{\frac{Pa}{\sigma'v}} \times Nm \times C_e \times C_r \times C_s \times C_b \\
 &= \sqrt{\frac{101,3}{65,890}} \times 42 \times 0,6 \times 0,75 \times 1 \times 1,05 \\
 &= 34,566
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan nilai $N_{1(60)}$ yang dijabarkan dalam Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai $N_{1(60)}$ Pada Titik BM-K1

Kedalaman (H) (m)	N SPT Pukulan/30cm	E_m	C_r/E_r	C_s	C_b	C_N (Seed)	C_N (Cetin)	N_{60} (Seed)	N_{60} (Cetin & HBF)	$N_{1(60)}$ (Seed)	$N_{1(60)}$ (Cetin)	$N_{1(60)}$ (HBF)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	43	0,6	0,75	1	1,05	1,722	1,284	0,538	20,318	0,925	26,078	35,207
4	42	0,6	0,75	1	1,05	1,417	1,201	0,525	19,845	0,744	23,832	28,300
6	59	0,6	0,75	1	1,05	1,232	1,128	0,738	27,878	0,909	31,454	34,566
8	60	0,6	0,75	1	1,05	1,105	1,064	0,750	28,350	0,828	30,163	31,516
10	48	0,6	0,75	1	1,05	1,010	1,007	0,600	22,680	0,606	22,829	23,053
12	18	0,6	0,75	1	1,05	0,942	0,959	0,225	8,505	0,212	8,160	8,064
14	60	0,6	0,75	1	1,05	0,886	0,917	0,750	28,350	0,665	25,986	25,290
16	54	0,6	0,75	1	1,05	0,839	0,877	0,675	25,515	0,567	22,387	21,556
18	20	0,6	0,75	1	1,05	0,799	0,841	0,250	9,450	0,200	7,951	7,602
20	19	0,6	0,75	1	1,05	0,763	0,807	0,238	8,978	0,181	7,245	6,895
22	21	0,6	0,75	1	1,05	0,731	0,775	0,263	9,923	0,192	7,694	7,305

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai $N_{1(60)}$ Pada Titik BM-K2

Kedalaman (H) (m)	N SPT Pukulan/30cm	E_m	C_r/E_r	C_s	C_b	C_N (Seed)	C_N (Cetin)	N_{60} (Seed)	N_{60} (Cetin & HBF)	$N_{1(60)}$ (Seed)	$N_{1(60)}$ (Cetin)	$N_{1(60)}$ (HBF)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	33	0,6	0,75	1	1,05	1,741	1,287	0,413	15,593	0,718	20,075	27,315
4	36	0,6	0,75	1	1,05	1,438	1,208	0,450	17,010	0,647	20,547	24,618
6	60	0,6	0,75	1	1,05	1,253	1,138	0,750	28,350	0,940	32,251	35,747
8	56	0,6	0,75	1	1,05	1,125	1,075	0,700	26,460	0,787	28,445	29,950
10	29	0,6	0,75	1	1,05	1,029	1,019	0,363	13,703	0,373	13,962	14,193
12	47	0,6	0,75	1	1,05	0,954	0,968	0,588	22,208	0,561	21,507	21,334
14	27	0,6	0,75	1	1,05	0,892	0,921	0,338	12,758	0,301	11,755	11,458
16	44	0,6	0,75	1	1,05	0,841	0,879	0,550	20,790	0,463	18,268	17,596
18	12	0,6	0,75	1	1,05	0,797	0,840	0,150	5,670	0,120	4,762	4,551
20	10	0,6	0,75	1	1,05	0,760	0,804	0,125	4,725	0,095	3,800	3,615
22	17	0,6	0,75	1	1,05	0,728	0,771	0,213	8,033	0,155	6,197	5,882

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai $N_{1(60)}$ Pada Titik BM-K3

Kedalaman (H) (m)	N SPT Pukulan/30cm	E_m	C_r/E_r	C_s	C_b	C_N (Seed)	C_N (Cetin)	N_{60} (Seed)	N_{60} (Cetin & HBF)	$N_{1(60)}$ (Seed)	$N_{1(60)}$ (Cetin)	$N_{1(60)}$ (HBF)
0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	24	0,6	0,75	1	1,05	2,040	1,339	0,300	11,340	0,612	15,186	23,286
4	8	0,6	0,75	1	1,05	1,577	1,249	0,100	3,780	0,158	4,721	6,001
6	32	0,6	0,75	1	1,05	1,332	1,170	0,400	15,120	0,533	17,693	20,268
8	42	0,6	0,75	1	1,05	1,174	1,101	0,525	19,845	0,616	21,844	23,450
10	60	0,6	0,75	1	1,05	1,062	1,039	0,750	28,350	0,796	29,457	30,292
12	60	0,6	0,75	1	1,05	0,976	0,984	0,750	28,350	0,732	27,894	27,859
14	32	0,6	0,75	1	1,05	0,909	0,934	0,400	15,120	0,364	14,127	13,830
16	25	0,6	0,75	1	1,05	0,856	0,892	0,313	11,813	0,268	10,533	10,178
18	45	0,6	0,75	1	1,05	0,812	0,853	0,563	21,263	0,457	18,131	17,368
20	60	0,6	0,75	1	1,05	0,778	0,822	0,750	28,350	0,584	23,292	22,203
22	21	0,6	0,75	1	1,05	0,749	0,793	0,263	9,923	0,196	7,865	7,475

5.2 Analisis Pontensi Likuifaksi

Analisis potensi likuifaksi yang dilakukan pada tugas akhir ini menggunakan 3 metode, yakni metode Seed et. al (1985), Cetin et. al (2004), dan HBF (2012).

5.2.1 Analisis Potensi Likuifaksi Metode Seed et. al (1985)

Dalam menganalisis potensi likuifaksi menggunakan metode Seed et. al (1985), dilakukan perhitungan sebagai berikut. Perhitungan analisis dibawah merupakan perhitungan pada titik BM-K1.

1. Nilai $N_{1(60)CS}$

- a. Kedalaman 4 meter (FC = 9,90%, Mw = 6,3 SR)

$$\begin{aligned}
 N_{1(60)CS} &= \alpha + \beta \cdot N_{1(60)} \\
 &= \exp\left(1,76 - \frac{190}{FC^2}\right) + \left(0,99 + \left(\frac{FC^{1,5}}{1000}\right)\right) \times N_{1(60)} \\
 &= \left(\exp\left(1,76 - \frac{190}{9,90^2}\right) + \left(0,99 + \left(\frac{9,90^{1,5}}{1000}\right)\right) \times 0,744\right) \\
 &= (0,836) + ((1,021 \times 0,744)) \\
 &= 1,596
 \end{aligned}$$

- b. Kedalaman 12 meter (FC = 7,20%, Mw = 7 SR)

$$\begin{aligned}
 N_{1(60)CS} &= \alpha + \beta \cdot N_{1(60)} \\
 &= \exp\left(1,76 - \frac{190}{FC^2}\right) + \left(0,99 + \left(\frac{FC^{1,5}}{1000}\right)\right) \times N_{1(60)} \\
 &= \left(\exp\left(1,76 - \frac{190}{7,20^2}\right) + \left(0,99 + \left(\frac{7,20^{1,5}}{1000}\right)\right) \times 0,212\right) \\
 &= (0,149) + ((1,009 \times 0,212)) \\
 &= 0,363
 \end{aligned}$$

- c. Kedalaman 20 meter (FC = 5,70%, Mw = 7,5 SR)

$$\begin{aligned}
 N_{1(60)CS} &= \alpha + \beta \cdot N_{1(60)} \\
 &= \exp\left(1,76 - \frac{190}{FC^2}\right) + \left(0,99 + \left(\frac{FC^{1,5}}{1000}\right)\right) \times N_{1(60)} \\
 &= \left(\exp\left(1,76 - \frac{190}{5,70^2}\right) + \left(0,99 + \left(\frac{5,70^{1,5}}{1000}\right)\right) \times 0,181\right) \\
 &= (0,0181) + ((1,004 \times 0,212)) \\
 &= 0,199
 \end{aligned}$$

2. Nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR)

Rumus untuk mencari nilai CRR pada metode Seed et. al (1985) tertera pada Persamaan 3.18. Berikut merupakan contoh perhitungan nilai CRR menggunakan metode Seed et. al (1985).

a. Kedalaman 4 meter (FC = 9,90%, Mw = 6,3 SR)

$$\text{CRR} = \text{CRR}_{7,5} \times \text{MSF}$$

$$\text{CRR}_{7,5}$$

$$= \frac{0,048 + (-4,721 \times 10^{-3}) \cdot (N_{1(60)CS} + 6,136 \cdot 10^{-4} + (-1,673 \cdot 10^{-5}))}{(1 - 0,1248 \cdot N_{1(60)CS}) + (9,578 \cdot 10^{-3} \cdot (N_{1(60)CS})^2) - (3,528 \cdot 10^{-4} \cdot (N_{1(60)CS})^3) + (3,714 \cdot 10^{-6} \cdot (N_{1(60)CS})^4)}$$

$$= \frac{0,048 + (-4,721 \times 10^{-3}) \cdot (1,596 + 6,136 \cdot 10^{-4} + (-1,673 \cdot 10^{-5}))}{(1 - 0,1248 \cdot 1,596) + (9,578 \cdot 10^{-3} \cdot (1,596)^2) - (3,528 \cdot 10^{-4} \cdot (1,596)^3) + (3,714 \cdot 10^{-6} \cdot (1,596)^4)}$$

$$= 0,050$$

$$\text{MSF} = \frac{10^{2,24}}{M_w^{2,56}}$$

$$= \frac{10^{2,24}}{6,3^{2,56}}$$

$$= 10,775$$

$$\text{CRR} = 0,050 \times 10,775$$

$$= 0,537$$

b. Kedalaman 12 meter (FC = 7,20%, Mw = 7 SR)

$$\text{CRR} = \text{CRR}_{7,5} \times \text{MSF}$$

$$\text{CRR}_{7,5}$$

$$= \frac{0,048 + (-4,721 \times 10^{-3}) \cdot (N_{1(60)CS} + 6,136 \cdot 10^{-4} + (-1,673 \cdot 10^{-5}))}{(1 - 0,1248 \cdot N_{1(60)CS}) + (9,578 \cdot 10^{-3} \cdot (N_{1(60)CS})^2) - (3,528 \cdot 10^{-4} \cdot (N_{1(60)CS})^3) + (3,714 \cdot 10^{-6} \cdot (N_{1(60)CS})^4)}$$

$$= \frac{0,048 + (-4,721 \times 10^{-3}) \cdot (0,363 + 6,136 \cdot 10^{-4} + (-1,673 \cdot 10^{-5}))}{(1 - 0,1248 \cdot 0,363) + (9,578 \cdot 10^{-3} \cdot (0,363)^2) - (3,528 \cdot 10^{-4} \cdot (0,363)^3) + (3,714 \cdot 10^{-6} \cdot (0,363)^4)}$$

$$= 0,049$$

$$\text{MSF} = \frac{10^{2,24}}{M_w^{2,56}}$$

$$= \frac{10^{2,24}}{7^{2,56}}$$

$$= 9,698$$

$$\text{CRR} = 0,049 \times 9,698$$

$$= 0,476$$

- c. Kedalaman 20 meter (FC = 5,70%, Mw = 7,5 SR)

$$\text{CRR} = \text{CRR}_{7,5} \times \text{MSF}$$

$$\text{CRR}_{7,5}$$

$$= \frac{0,048 + (-4,721 \times 10^{-3}) \cdot (N_{1(60)cs} + 6,136 \cdot 10^{-4} + (-1,673 \cdot 10^{-5}))}{(1 - 0,1248 \cdot N_{1(60)cs}) + (9,578 \cdot 10^{-3} \cdot (N_{1(60)cs})^2) - (3,528 \cdot 10^{-4} \cdot (N_{1(60)cs})^3) + (3,714 \cdot 10^{-6} \cdot (N_{1(60)cs})^4)}$$

$$= \frac{0,048 + (-4,721 \times 10^{-3}) \cdot (0,199 + 6,136 \cdot 10^{-4} + (-1,673 \cdot 10^{-5}))}{(1 - 0,1248 \cdot 0,199) + (9,578 \cdot 10^{-3} \cdot (0,199)^2) - (3,528 \cdot 10^{-4} \cdot (0,199)^3) + (3,714 \cdot 10^{-6} \cdot (0,199^4))}$$

$$= 0,049$$

$$\text{MSF} = \frac{10^{2,24}}{M_w^{2,56}}$$

$$= \frac{10^{2,24}}{7,5^{2,56}}$$

$$= 9,051$$

$$\text{CRR} = 0,049 \times 9,051$$

$$= 0,442$$

3. Nilai *Cyclic Strength Ratio* (CSR)

Rumus untuk mencari nilai CSR terdapat pada Persamaan 3.12 sebagai berikut.

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

Nilai r_d dihitung berdasarkan Persamaan 3.13 dan Gambar 3.5 sehingga penjabaran dari perhitungan nilai CSR adalah sebagai berikut.

- a. Kedalaman 4 meter (FC = 9,90%, Mw = 6,3 SR)

$$r_d = 1 - (0,00765 \cdot z)$$

$$= 1 - (0,00765 \cdot 4)$$

$$= 0,969$$

$$\text{CSR} = \left(\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} \right) = (0,65) \times (0,55) \times \left(\frac{71,395}{49,813} \right) \cdot 0,969$$

$$= 0,497$$

- b. Kedalaman 12 meter (FC = 7,20%, Mw = 7 SR)

$$r_d = 1,174 - (0,0267 \cdot z)$$

$$= 1,174 - (0,0267 \cdot 12)$$

$$= 0,854$$

$$\text{CSR} = \left(\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} \right) = (0,65) \times (0,55) \times \left(\frac{209,831}{109,769} \right) \cdot 0,854$$

$$= 0,576$$

- c. Kedalaman 20 meter (FC = 5,70%, Mw = 7,5 SR)

$$\begin{aligned} r_d &= 1,174 - (0,0267 \cdot z) \\ &= 1,174 - (0,0267 \cdot 20) \\ &= 0,640 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CSR &= \left(\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} \right) = (0,65) \times (0,55) \times \left(\frac{351,601}{173,059} \right) \cdot 0,640 \\ &= 0,467 \end{aligned}$$

4. Nilai *Safety Factor* (SF)

Nilai SF mengacu pada Persamaan 3.11, berikut merupakan perhitungan untuk mendapatkan nilai SF.

$$SF = \frac{CRR}{CSR}$$

- a. Kedalaman 4 meter (FC = 9,90%, Mw = 6,3 SR)

$$\begin{aligned} SF &= \frac{0,532}{0,497} \\ &= 1,081 \quad (\text{Kritis}) \end{aligned}$$

- b. Kedalaman 12 meter (FC = 7,20%, Mw = 7 SR)

$$\begin{aligned} SF &= \frac{0,478}{0,576} \\ &= 0,825 \quad (\text{Terjadi Likuifaksi}) \end{aligned}$$

- c. Kedalaman 20 meter (FC = 5,70%, Mw = 7,5 SR)

$$\begin{aligned} SF &= \frac{0,451}{0,467} \\ &= 0,947 \quad (\text{Terjadi Likuifaksi}) \end{aligned}$$

Pada hasil analisis yang telah dihitung, didapat bahwa pada BM-K1 kedalaman 4 m dengan gempa 6,3 SR menghasilkan SF 1,081 dimana nilai SF menunjukkan bahwa tanah sangat kritis untuk mengalami likuifaksi, kemudian pada kedalaman 12 dan 20 m dengan gempa 7,0 dan 7,5 SR menghasilkan SF 0,825 dan 0,947 dimana nilai SF tersebut memiliki potensi likuifaksi. Rekapitulasi Tabel 5.3 perhitungan analisis potensi likuifaksi dengan metode Seed et. al (1985) adalah sebagai berikut.

Tabel 5. 7 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi Metode Seed et. Al (1985) Pada Titik BM-K1

Kedalaman (H) (m)	Nilai N	$N_{1(60)}$	FC %	α	β	$N_{1(60 Cs)}$	CRR	Nilai CRR Mw = 6,3 SR	Nilai CRR Mw = 7 SR	Nilai CRR Mw = 7,5 SR	r_d	CSR
2	43	0,925	9,90	0,84	1,02	1,781	0,050	0,537	0,483	0,451	0,98	0,373
4	42	0,744	9,90	0,84	1,02	1,596	0,050	0,537	0,483	0,451	0,97	0,497
6	59	0,909	9,90	0,84	1,02	1,764	0,050	0,537	0,483	0,451	0,95	0,605
8	60	0,828	9,90	0,84	1,02	1,682	0,050	0,537	0,483	0,451	0,94	0,638
10	48	0,606	9,90	0,84	1,02	1,455	0,050	0,537	0,483	0,451	0,91	0,590
12	18	0,212	7,20	0,15	1,01	0,363	0,049	0,528	0,476	0,444	0,85	0,576
14	60	0,665	7,20	0,15	1,01	0,820	0,049	0,533	0,480	0,448	0,80	0,605
16	54	0,567	7,20	0,15	1,01	0,721	0,049	0,532	0,479	0,447	0,75	0,577
18	20	0,200	7,20	0,15	1,01	0,350	0,049	0,528	0,475	0,444	0,69	0,500
20	19	0,181	5,70	0,02	1,00	0,199	0,049	0,526	0,474	0,442	0,64	0,467
22	21	0,192	5,70	0,02	1,00	0,209	0,049	0,527	0,474	0,442	0,59	0,432

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi Metode Seed et. Al (1985) Pada Titik BM-K2

Kedalaman (H) (m)	Nilai N	$N_{1(60)}$	FC %	α	β	$N_{1(60\text{ Cs})}$	CRR	Nilai CRR Mw = 6,3 SR	Nilai CRR Mw = 7 SR	Nilai CRR Mw = 7,5 SR	r_d	CSR
2	33	0,718	4,70	0,00	1,00	0,718	0,049	0,532	0,479	0,447	0,98	0,373
4	36	0,647	4,70	0,00	1,00	0,647	0,049	0,532	0,478	0,447	0,97	0,501
6	60	0,940	4,70	0,00	1,00	0,940	0,050	0,534	0,481	0,449	0,95	0,613
8	56	0,787	4,70	0,00	1,00	0,787	0,049	0,533	0,480	0,448	0,94	0,648
10	29	0,373	4,70	0,00	1,00	0,373	0,049	0,529	0,476	0,444	0,91	0,601
12	47	0,561	4,70	0,00	1,00	0,561	0,049	0,531	0,478	0,446	0,85	0,583
14	27	0,301	12,30	1,66	1,03	1,967	0,050	0,537	0,483	0,451	0,80	0,559
16	44	0,463	12,30	1,66	1,03	2,133	0,050	0,536	0,483	0,450	0,75	0,530
18	12	0,120	12,30	1,66	1,03	1,779	0,050	0,537	0,483	0,451	0,69	0,498
20	10	0,095	12,30	1,66	1,03	1,754	0,050	0,537	0,483	0,451	0,64	0,465
22	17	0,155	12,30	1,66	1,03	1,815	0,050	0,537	0,483	0,451	0,59	0,430

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi Metode Seed et. Al (1985) Pada Titik BM-K3

Kedalaman (H) (m)	Nilai N	$N_{1(60)}$	FC %	α	β	$N_{1(60 Cs)}$	CRR	Nilai CRR Mw = 6,3 SR	Nilai CRR Mw = 7 SR	Nilai CRR Mw = 7,5 SR	r_d	CSR
2	24	0,612	6,00	0,03	1,00	0,645	0,049	0,532	0,478	0,446	0,98	0,525
4	8	0,158	6,00	0,03	1,00	0,188	0,049	0,526	0,474	0,442	0,97	0,617
6	32	0,533	6,00	0,03	1,00	0,565	0,049	0,531	0,478	0,446	0,95	0,650
8	42	0,616	6,00	0,03	1,00	0,649	0,049	0,532	0,478	0,447	0,94	0,662
10	60	0,796	6,00	0,03	1,00	0,830	0,049	0,533	0,480	0,448	0,91	0,714
12	60	0,732	6,00	0,03	1,00	0,765	0,049	0,533	0,479	0,447	0,85	0,682
14	32	0,364	6,00	0,03	1,00	0,395	0,049	0,529	0,476	0,444	0,80	0,592
16	25	0,268	9,60	0,74	1,02	1,012	0,050	0,535	0,481	0,449	0,75	0,559
18	45	0,457	9,60	0,74	1,02	1,205	0,050	0,536	0,482	0,450	0,69	0,523
20	60	0,584	9,60	0,74	1,02	1,335	0,050	0,536	0,483	0,451	0,64	0,534
22	21	0,196	9,60	0,74	1,20	0,940	0,050	0,534	0,481	0,449	0,59	0,454

5.2.2 Analisis Potensi Likuifaksi Metode Cetin et. al (2004)

Berlandaskan Metode Seed et. al (1985), Cetin et al (2004) mengusulkan detail pemrosesan detail dan menyajikan 200 data berdasarkan studi kasusnya dengan peningkatan kuantitas dan kualitas pemrosesan dari data tersebut. dalam studinya, nilai CSR dihitung dengan metode Seed dan Idriss (1971) namun perlu dikalikan faktor koreksi. Berikut merupakan perhitungan analisis potensi likuifaksi menggunakan metode Cetin et al (2004) yang berada di titik BM-K1 pada kedalaman 4, 10, dan 20 meter.

1. Nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR)

Rumus untuk menghitung nilai CSR adalah sebagai berikut berdasarkan Persamaan 3.15

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

$$CSR_{\sigma'v=1atm} = \left(\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} \right) = 0,65 \left(\frac{a_{maks}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{vc}}{\sigma'_{vc}} \right) \cdot r_d \cdot \frac{1}{K_{\sigma} \cdot K_{\alpha} \cdot K_{Mw}}$$

Dengan:

$$K_{\alpha} = 1$$

$$K_{\sigma} = \left(\frac{\sigma'_v}{P_a} \right)^{-\theta_3/\theta_6} = \left(\frac{\sigma'_v}{P_a} \right)^{-3,958/11,771} = \left(\frac{\sigma'_v}{P_a} \right)^{-0,336}$$

$$K_{Mw} = \left(\frac{M_w}{7,5} \right)^{-\theta_2/\theta_6} = \left(\frac{M_w}{7,5} \right)^{-27,352/11,771} = \left(\frac{M_w}{7,5} \right)^{-2,324}$$

Koefisien yang telah ditetapkan dalam Metode Cetin et. al (2004) dijabarkan dalam Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5. 10 Model Coefficients of Cetin et Al Method.

Model Coefficients	Cetin et. al (2004)
θ1	0,004
θ2	29,53
θ3	3,7
θ4	0,05
θ5	16,85
θ6	13,32
σ _ε	2,7
P _a	101,3

Sumber: Cetin et. al, 2018

- a. Kedalaman 4 meter (FC = 9,90%, Mw = 6,3 SR)

$$CSR_{\sigma'v=1atm} = \left(\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{Vo}} \right) = 0,65 \left(\frac{a_{maks}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{Vc}}{\sigma'_{Vc}} \right) \cdot r_d \cdot \frac{1}{K_{\sigma} \cdot K_{\alpha} \cdot K_{Mw}}$$

$$\begin{aligned} r_d &= 1 - (0,00765 \cdot z) \\ &= 1 - (0,00765 \cdot 4) \\ &= 0,97 \end{aligned}$$

$$K_{\alpha} = 1$$

$$K_{\sigma} = \left(\frac{\sigma'_{v}}{P_a} \right)^{-3,958/11,771} = \left(\frac{49,813}{101,3} \right)^{-0,336} = 1,27$$

$$K_{Mw} = \left(\frac{Mw}{7,5} \right)^{-27,352/11,771} = \left(\frac{6,3}{7,5} \right)^{-2,324} = 1,06$$

$$\begin{aligned} CSR_{\sigma'v=1atm} &= (0,65) \times (0,55) \times \left(\frac{71,395}{49,813} \right) \cdot 0,97 \cdot \frac{1}{1,27 \cdot 1 \cdot 1,06} \\ &= 0,270 \end{aligned}$$

- b. Kedalaman 10 meter (FC = 9,90%, Mw = 7 SR)

$$CSR_{\sigma'v=1atm} = \left(\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{Vo}} \right) = 0,65 \left(\frac{a_{maks}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{Vc}}{\sigma'_{Vc}} \right) \cdot r_d \cdot \frac{1}{K_{\sigma} \cdot K_{\alpha} \cdot K_{Mw}}$$

$$\begin{aligned} r_d &= 1,174 - (0,0267 \cdot z) \\ &= 1,174 - (0,0267 \cdot 10) \\ &= 0,91 \end{aligned}$$

$$K_{\alpha} = 1$$

$$K_{\sigma} = \left(\frac{\sigma'_{v}}{P_a} \right)^{-3,958/11,771} = \left(\frac{98,045}{101,3} \right)^{-0,336} = 1,01$$

$$K_{Mw} = \left(\frac{Mw}{7,5} \right)^{-27,352/11,771} = \left(\frac{7}{7,5} \right)^{-2,324} = 1,02$$

$$\begin{aligned} CSR_{\sigma'v=1atm} &= (0,65) \times (0,55) \times \left(\frac{178,487}{98,045} \right) \cdot 0,91 \cdot \frac{1}{1,01 \cdot 1 \cdot 1,02} \\ &= 0,480 \end{aligned}$$

- c. Kedalaman 20 meter (FC = 5,70%, Mw = 7,5 SR)

$$CSR_{\sigma'v=1atm} = \left(\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{Vo}} \right) = 0,65 \left(\frac{a_{maks}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{Vc}}{\sigma'_{Vc}} \right) \cdot r_d \cdot \frac{1}{K_{\sigma} \cdot K_{\alpha} \cdot K_{Mw}}$$

$$\begin{aligned} r_d &= 1,174 - (0,0267 \cdot z) \\ &= 1,174 - (0,0267 \cdot 20) \\ &= 0,64 \end{aligned}$$

$$K_{\alpha} = 1$$

$$\begin{aligned}
K_{\sigma} &= \left(\frac{\sigma'_v}{P_a}\right)^{-3,958/11,771} = \left(\frac{350,267}{101,3}\right)^{-0,336} = 0,84 \\
K_{M_w} &= \left(\frac{M_w}{7,5}\right)^{-27,352/11,771} = \left(\frac{7,5}{7,5}\right)^{-2,324} = 1,00 \\
CSR_{\sigma'_v=1atm} &= (0,65) \times (0,55) \times \left(\frac{350,267}{171,26}\right) \cdot 0,64 \cdot \frac{1}{0,84 \cdot 1 \cdot 1} \\
&= 0,456
\end{aligned}$$

2. Nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR)

Pada metode ini digunakan nilai $N_{1(60)}$ untuk menghitung nilai CRR. Adapun koefisien yang telah ditentukan dapat dilihat pada Tabel 3.5

- Kedalaman 4 m nilai $N_{1(60)}$: 23,832
- Kedalaman 10 m nilai $N_{1(60)}$: 22,829
- Kedalaman 20 m nilai $N_{1(60)}$: 7,245

a. Kedalaman 4 meter (FC = 9,90%, $M_w = 6,3$ SR)

$$\begin{aligned}
CRR &= \exp \left[\frac{N_{1(60)} \cdot (1 + \theta_1 \cdot FC) - \theta_2 \cdot \ln(M_w) - \theta_3 \cdot \ln\left(\frac{\sigma'_v}{P_a}\right) + \theta_4 \cdot FC + \theta_5 + \sigma_{\varepsilon} \Phi^{-1}(PL)}{\theta_6} \right] \\
&= \exp \left[\frac{23,832 \cdot (1 + 0,004 \cdot 9,90) - 29,540 \cdot \ln(6,3) - 3,7 \cdot \ln\left(\frac{49,813}{101,3}\right) + 0,05 \cdot 9,90 + 16,85 + 2,70 \cdot \Phi^{-1}(0,15,0,1)}{13,32} \right] \\
&= 0,313
\end{aligned}$$

b. Kedalaman 10 meter (FC = 9,90%, $M_w = 7$ SR)

$$\begin{aligned}
CRR &= \exp \left[\frac{N_{1(60)} \cdot (1 + \theta_1 \cdot FC) - \theta_2 \cdot \ln(M_w) - \theta_3 \cdot \ln\left(\frac{\sigma'_v}{P_a}\right) + \theta_4 \cdot FC + \theta_5 + \sigma_{\varepsilon} \Phi^{-1}(PL)}{\theta_6} \right] \\
&= \exp \left[\frac{22,829 \cdot (1 + 0,004 \cdot 9,90) - 29,540 \cdot \ln(7) - 3,7 \cdot \ln\left(\frac{98,045}{101,3}\right) + 0,05 \cdot 9,90 + 16,85 + 2,70 \cdot \Phi^{-1}(0,15,0,1)}{13,32} \right] \\
&= 0,190
\end{aligned}$$

c. Kedalaman 20 meter (FC = 5,70%, $M_w = 7,5$ SR)

$$\begin{aligned}
CRR &= \exp \left[\frac{N_{1(60)} \cdot (1 + \theta_1 \cdot FC) - \theta_2 \cdot \ln(M_w) - \theta_3 \cdot \ln\left(\frac{\sigma'_v}{P_a}\right) + \theta_4 \cdot FC + \theta_5 + \sigma_{\varepsilon} \Phi^{-1}(PL)}{\theta_6} \right] \\
&= \exp \left[\frac{7,245 \cdot (1 + 0,004 \cdot 5,70) - 29,540 \cdot \ln(7,5) - 3,7 \cdot \ln\left(\frac{171,25}{101,3}\right) + 0,05 \cdot 5,70 + 16,85 + 2,70 \cdot \Phi^{-1}(0,15,0,1)}{13,32} \right] \\
&= 0,040
\end{aligned}$$

3. Nilai *Safety Factor* (SF)

$$SF = \frac{CRR}{CSR}$$

- a. Kedalaman 4 meter (FC = 9,90%, Mw = 6,3 SR)

$$SF = \frac{0,313}{0,270}$$

$$= 1,162 \quad (\text{tidak berpotensi likuifaksi})$$

- b. Kedalaman 10 meter (FC = 9,90%, Mw = 7 SR)

$$SF = \frac{0,190}{0,480}$$

$$= 0,395 \quad (\text{berpotensi likuifaksi})$$

- c. Kedalaman 20 meter (FC = 5,70%, Mw = 7,5 SR)

$$SF = \frac{0,040}{0,456}$$

$$= 0,088 \quad (\text{berpotensi likuifaksi})$$

Pada hasil analisis yang telah dihitung, didapat bahwa pada BM-K1 kedalaman 4 m dengan gempa 6,3 SR menghasilkan SF 1,162 dimana nilai SF menunjukkan bahwa pada kedalaman 4 m tidak berpotensi mengalami likuifaksi, kemudian pada kedalaman 10 dan 20 m dengan gempa 7 dan 7,5 SR menghasilkan SF 0,395 dan 0,088 dimana nilai SF memiliki potensi terjadinya likuifaksi. Rekapitulasi Tabel 5.5 perhitungan analisis potensi likuifaksi dengan metode Cetin et al (2004) adalah sebagai berikut.

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi Metode Cetin et. Al (2004) Pada Titik BM-K1

Kedalaman (m)	Nilai N	$N_{1(60)}$	FC %	σ'_v (kN/m ²)	$K\sigma$	CRR Mw = 6,3 SR	CRR Mw = 7 SR	CRR Mw = 7,5 SR	CSR $\sigma'_v=1\text{atm}$ Mw = 6,3 SR	CSR $\sigma'_v=1\text{atm}$ Mw = 7 SR	CSR $\sigma'_v=1\text{atm}$ Mw = 7,5 SR
2	43	26,078	9,90	33,735	1,45	0,416	0,329	0,283	0,177	0,303	0,364
4	42	23,832	9,90	49,813	1,27	0,313	0,248	0,213	0,270	0,404	0,485
6	59	31,454	9,90	65,890	1,16	0,525	0,416	0,357	0,361	0,492	0,591
8	60	30,163	9,90	81,968	1,07	0,447	0,354	0,304	0,409	0,519	0,623
10	48	22,829	9,90	98,045	1,01	0,240	0,190	0,163	0,402	0,480	0,577
12	18	8,160	7,20	112,671	0,96	0,072	0,057	0,049	0,411	0,469	0,563
14	60	25,986	7,20	127,297	0,93	0,277	0,219	0,188	0,451	0,493	0,592
16	54	22,387	7,20	141,924	0,89	0,203	0,161	0,138	0,445	0,470	0,564
18	20	7,951	7,20	156,550	0,86	0,065	0,051	0,044	0,398	0,407	0,488
20	19	7,245	5,70	171,725	0,84	0,059	0,047	0,040	0,384	0,380	0,456
22	21	7,694	5,70	186,900	0,81	0,060	0,048	0,041	0,366	0,352	0,422

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi Metode Cetin et. Al (2004) Pada Titik BM-K2

Kedalaman (m)	Nilai N	$N_{1(60)}$	FC %	σ'_v (kN/m ²)	$K\sigma$	CRR Mw = 6,3 SR	CRR Mw = 7 SR	CRR Mw = 7,5 SR	CSR $\sigma'_v=1\text{atm}$ Mw = 6,3 SR	CSR $\sigma'_v=1\text{atm}$ Mw = 7 SR	CSR $\sigma'_v=1\text{atm}$ Mw = 7,5 SR
2	33	20,075	4,70	33,010	1,46	0,386	0,306	0,263	0,176	0,304	0,364
4	36	20,547	4,70	48,362	1,28	0,360	0,285	0,245	0,269	0,408	0,490
6	60	32,251	4,70	63,713	1,17	0,817	0,647	0,555	0,361	0,499	0,599
8	56	28,445	4,70	79,065	1,09	0,575	0,455	0,391	0,411	0,527	0,633
10	29	13,962	4,70	94,417	1,02	0,181	0,143	0,123	0,404	0,489	0,587
12	47	21,507	4,70	109,769	0,97	0,309	0,244	0,210	0,413	0,475	0,570
14	27	11,755	12,30	125,591	0,93	0,149	0,118	0,101	0,414	0,455	0,546
16	44	18,268	12,30	141,414	0,89	0,241	0,191	0,164	0,409	0,431	0,518
18	12	4,762	12,30	157,236	0,86	0,081	0,064	0,055	0,398	0,406	0,487
20	10	3,800	12,30	173,059	0,84	0,073	0,058	0,050	0,383	0,378	0,454
22	17	6,197	12,30	188,881	0,81	0,086	0,068	0,058	0,365	0,350	0,420

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi Metode Cetin et. Al (2004) Pada Titik BM-K3

Kedalaman (m)	Nilai N	$N_{1(60)}$	FC %	σ'_v (kN/m ²)	$K\sigma$	CRR Mw = 6,3 SR	CRR Mw = 7 SR	CRR Mw = 7,5 SR	CSR $\sigma'_v=1atm$ Mw = 6,3 SR	CSR $\sigma'_v=1atm$ Mw = 7 SR	CSR $\sigma'_v=1atm$ Mw = 7,5 SR
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	24	15,186	6,00	24,024	1,62	0,294	0,232	0,199	0,223	0,427	0,513
4	8	4,721	6,00	40,199	1,36	0,114	0,090	0,077	0,312	0,502	0,603
6	32	17,693	6,00	56,375	1,22	0,281	0,222	0,191	0,368	0,529	0,635
8	42	21,844	6,00	72,550	1,12	0,360	0,285	0,245	0,408	0,539	0,647
10	60	29,457	6,00	88,726	1,05	0,612	0,484	0,416	0,470	0,581	0,697
12	60	27,894	6,00	104,901	0,99	0,518	0,410	0,352	0,475	0,555	0,666
14	32	14,127	6,00	121,077	0,94	0,173	0,137	0,117	0,433	0,482	0,578
16	25	10,533	9,60	136,448	0,90	0,130	0,103	0,088	0,426	0,455	0,546
18	45	18,131	9,60	151,820	0,87	0,228	0,181	0,155	0,413	0,426	0,511
20	60	23,292	9,60	165,151	0,85	0,333	0,264	0,226	0,434	0,435	0,522
22	21	7,865	9,60	178,483	0,83	0,098	0,078	0,067	0,378	0,370	0,444

5.2.3 Analisis Potensi Likuifaksi Metode HBF (2012)

Metode Analisis potensi likuifaksi menggunakan metode HBF (2012) dilakukan perhitungan sebagai berikut. Perhitungan analisis dibawah merupakan perhitungan pada titik BM-K1.

1. Nilai $N_{1(60)CS}$

- a. Kedalaman 4 meter (FC = 9,90%, Mw = 6,3 SR)

$$N_{1(60)CS} = K_s \times N_{1(60)}$$

$$\text{Bila } FC \leq 10, \quad \text{maka } k_s = 1,0$$

$$\text{Bila nilai } FC \geq 10, \quad \text{maka } k_s = 1 + 0,07 \times \sqrt{FC - 10}$$

$$\begin{aligned} N_{1(60)CS} &= 1 \times 28,300 \\ &= 28,300 \end{aligned}$$

- b. Kedalaman 10 meter (FC = 9,90%, Mw = 7 SR)

$$N_{1(60)CS} = K_s \times N_{1(60)}$$

$$\text{Bila } FC \leq 10, \quad \text{maka } k_s = 1,0$$

$$\text{Bila nilai } FC \geq 10, \quad \text{maka } k_s = 1 + 0,07 \times \sqrt{FC - 10}$$

$$\begin{aligned} N_{1(60)CS} &= 1 \times 23,053 \\ &= 23,053 \end{aligned}$$

- c. Kedalaman 20 meter (FC = 5,70%, Mw = 7,5 SR)

$$N_{1(60)CS} = K_s \times N_{1(60)}$$

$$\text{Bila } FC \leq 10, \quad \text{maka } k_s = 1,0$$

$$\text{Bila nilai } FC \geq 10, \quad \text{maka } k_s = 1 + 0,07 \times \sqrt{FC - 10}$$

$$\begin{aligned} N_{1(60)CS} &= 1 \times 6,895 \\ &= 6,895 \end{aligned}$$

2. Nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR)

Rumus untuk mencari nilai CRR pada metode HBF (2012) tertera pada Persamaan 3.24. Berikut merupakan contoh perhitungan nilai CRR menggunakan metode HBF (2012).

- a. Kedalaman 2 meter (FC = 9,90%, Mw = 6,3 SR)

$$CRR = A + \frac{B \times N_{1(60)CS}}{1 - N_{1(60)CS}/C}$$

Koefisien A, B, dan C berdasarkan Tabel 3.3 adalah 0,08;0,0035; dan 39

$$\begin{aligned} \text{CRR} &= 0,08 + \frac{0,0035 \times N_{1(60)cs}}{1 - N_{1(60)cs}/39} \\ &= 0,08 + \frac{0,0035 \times 28,300}{1 - 28,300/39} \\ &= 0,441 \end{aligned}$$

b. Kedalaman 10 meter (FC = 9,90%, Mw = 7 SR)

$$\begin{aligned} \text{CRR} &= 0,08 + \frac{0,0035 \times N_{1(60)cs}}{1 - N_{1(60)cs}/39} \\ &= 0,08 + \frac{0,0035 \times 28,503}{1 - 28,503/39} \\ &= 0,277 \end{aligned}$$

c. Kedalaman 20 meter (FC = 5,70%, Mw = 7,5 SR)

$$\begin{aligned} \text{CRR} &= 0,08 + \frac{0,0035 \times N_{1(60)cs}}{1 - N_{1(60)cs}/39} \\ &= 0,08 + \frac{0,0035 \times 6,895}{1 - 6,895/39} \\ &= 0,109 \end{aligned}$$

3. Nilai *Cyclic Strength Ratio* (CSR)

Rumus untuk mencari nilai CSR terdapat pada Persamaan 3.12 sebagai berikut.

$$\text{CSR} = \left(\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} \right) = 0,65 \left(\frac{a_{maks}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{vc}}{\sigma'_{vc}} \right) \cdot \left(\frac{r_d}{MSF} \right)$$

a. Kedalaman 4 meter (FC = 9,90%, Mw = 6,3 SR)

$$\begin{aligned} \text{MSF} &= \frac{M_w^{-1,8}}{7,5} \\ &= \frac{6,3^{-1,8}}{7,5} \\ &= 1,37 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CSR} &= 0,65 (0,55) \cdot (1,433) \cdot \left(\frac{0,97}{1,37} \right) \\ &= 0,363 \end{aligned}$$

b. Kedalaman 10 meter (FC = 9,90%, Mw = 7 SR)

$$\begin{aligned} \text{MSF} &= \frac{M_w^{-1,8}}{7,5} \\ &= \frac{7,0^{-1,8}}{7,5} \\ &= 1,13 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CSR} &= 0,65 (0,55) \cdot (1,82) \cdot \left(\frac{0,91}{1,13} \right) \\ &= 0,521 \end{aligned}$$

c. Kedalaman 20 meter (FC = 5,70%, Mw = 7,5 SR)

$$\begin{aligned} \text{MSF} &= \frac{M_w^{-1,8}}{7,5} \\ &= \frac{7,5^{-1,8}}{7,5} \\ &= 1,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CSR} &= 0,65 (0,55) \cdot (2,040) \cdot \left(\frac{0,64}{1,00} \right) \\ &= 0,467 \end{aligned}$$

d. Nilai *Safety Factor* (SF)

Nilai SF mengacu pada Persamaan 3.11, berikut merupakan perhitungan untuk mendapatkan nilai SF.

$$\text{SF} = \frac{\text{CRR}}{\text{CSR}}$$

a. Kedalaman 4 meter (FC = 9,90%, Mw = 6,3 SR)

$$\begin{aligned} \text{SF} &= \frac{0,441}{0,363} \\ &= 1,22 \quad (\text{Tidak berpotensi likuifaksi}) \end{aligned}$$

b. Kedalaman 10 meter (FC = 9,90%, Mw = 7 SR)

$$\begin{aligned} \text{SF} &= \frac{0,277}{0,521} \\ &= 0,53 \quad (\text{Berpotensi Likuifaksi}) \end{aligned}$$

c. Kedalaman 20 meter (FC = 5,70%, Mw = 7,5 SR)

$$\begin{aligned} SF &= \frac{0,109}{0,467} \\ &= 0,23 \quad (\text{Berpotensi Likuifaksi}) \end{aligned}$$

Pada hasil analisis yang telah dihitung, didapat bahwa pada BM-K1 kedalaman 4 m dengan gempa 6,3 SR menghasilkan SF 1,22 dimana nilai SF menunjukkan bahwa tanah aman terhadap likuifaksi, kemudian pada kedalaman 10 dan 20 m dengan gempa 7,0 dan 7,5 SR menghasilkan SF 0,53 dan 0,22 yang menunjukkan pada kedalaman tersebut berpotensi mengalami likuifaksi. Rekapitulasi Tabel 5.3 perhitungan analisis potensi likuifaksi dengan metode HBF (2012) adalah sebagai berikut.



Tabel 5. 14 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi Metode HBF (2012) Pada Titik BM-K1

Kedalaman (H) (m)	Nilai N	$N_{1(60)}$	FC %	K_s	$N_{1(60 Cs)}$	CRR	a_{maks} m/s ²	r_d	CSR M _w = 6,3 SR	CSR M _w = 7 SR	CSR M _w = 7,5 SR
2	43	35,207	9,90	1,00	35,207	1,347	0,55	0,98	0,272	0,329	0,373
4	42	28,300	9,90	1,00	28,300	0,441	0,55	0,97	0,363	0,439	0,497
6	59	34,566	9,90	1,00	34,566	1,144	0,60	0,95	0,442	0,534	0,605
8	60	31,516	9,90	1,00	31,516	0,655	0,60	0,94	0,466	0,563	0,638
10	48	23,053	9,90	1,00	23,053	0,277	0,55	0,91	0,431	0,521	0,590
12	18	8,064	7,20	1,00	8,064	0,116	0,55	0,85	0,421	0,509	0,576
14	60	25,290	7,20	1,00	25,290	0,332	0,60	0,80	0,442	0,535	0,605
16	54	21,556	7,20	1,00	21,556	0,249	0,60	0,75	0,422	0,510	0,577
18	20	7,602	7,20	1,00	7,602	0,113	0,55	0,69	0,365	0,441	0,500
20	19	6,895	5,70	1,00	6,895	0,109	0,55	0,64	0,341	0,412	0,467
22	21	7,305	5,70	1,00	7,305	0,111	0,55	0,59	0,316	0,382	0,432

Tabel 5. 15 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi Metode HBF (2012) Pada Titik BM-K2

Kedalaman (H) (m)	Nilai N	N ₁₍₆₀₎	FC %	K _s	N _{1(60 Cs)}	CRR	a maks m/s ²	r _d	CSR M _w = 6,3 SR	CSR M _w = 7 SR	CSR M _w = 7,5 SR
2	33	15,593	4,70	1,00	15,593	0,171	0,55	0,98	0,272	0,329	0,373
4	36	17,010	4,70	1,00	17,010	0,186	0,55	0,97	0,366	0,443	0,501
6	60	28,350	4,70	1,00	28,350	0,443	0,60	0,95	0,448	0,541	0,613
8	56	26,460	4,70	1,00	26,460	0,368	0,60	0,94	0,473	0,572	0,648
10	29	13,703	4,70	1,00	13,703	0,154	0,55	0,91	0,439	0,530	0,601
12	47	22,208	4,70	1,00	22,208	0,261	0,55	0,85	0,426	0,515	0,583
14	27	12,758	12,30	1,01	12,893	0,147	0,55	0,80	0,408	0,493	0,559
16	44	20,790	12,30	1,01	21,011	0,239	0,55	0,75	0,387	0,468	0,530
18	12	5,670	12,30	1,01	5,730	0,104	0,55	0,69	0,364	0,440	0,498
20	10	4,725	12,30	1,01	4,775	0,099	0,55	0,64	0,340	0,411	0,465
22	17	8,033	12,30	1,01	8,118	0,116	0,55	0,59	0,314	0,380	0,430

Tabel 5. 16 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi Metode HBF (2012) Pada Titik BM-K3

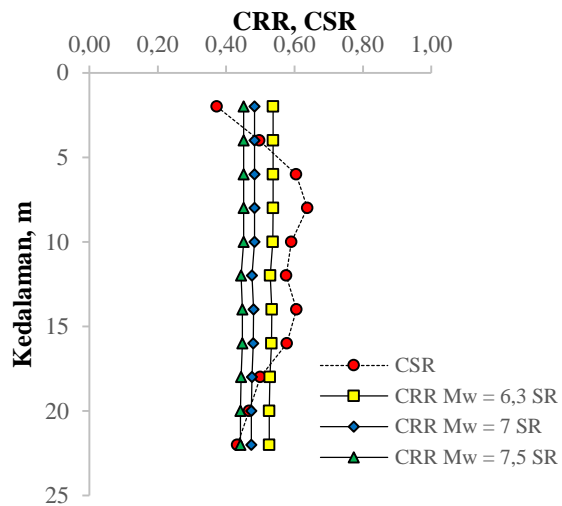
Kedalaman (H) (m)	Nilai N	$N_{1(60)}$	FC %	Ks	$N_{1(60 Cs)}$	CRR	a_{maks} m/s ²	r_d	CSR $M_w = 6,3 SR$	CSR $M_w = 7 SR$	CSR $M_w = 7,5 SR$
2	24	11,340	6,00	1,00	11,340	0,136	0,55	0,98	0,383	0,463	0,525
4	8	3,780	6,00	1,00	3,780	0,095	0,55	0,97	0,451	0,545	0,617
6	32	15,120	6,00	1,00	15,120	0,166	0,55	0,95	0,475	0,574	0,650
8	42	19,845	6,00	1,00	19,845	0,221	0,55	0,94	0,484	0,585	0,662
10	60	28,350	6,00	1,00	28,350	0,443	0,60	0,91	0,521	0,630	0,714
12	60	28,350	6,00	1,00	28,350	0,443	0,60	0,85	0,498	0,602	0,682
14	32	15,120	6,00	1,00	15,120	0,166	0,55	0,80	0,433	0,523	0,592
16	25	11,813	9,60	1,00	11,813	0,139	0,55	0,75	0,408	0,493	0,559
18	45	21,263	9,60	1,00	21,263	0,244	0,55	0,69	0,382	0,462	0,523
20	60	28,350	9,60	1,00	28,350	0,443	0,60	0,64	0,390	0,472	0,534
22	21	9,923	63,70	1,05	10,431	0,130	0,55	0,59	0,332	0,401	0,454

5.3 Pembahasan

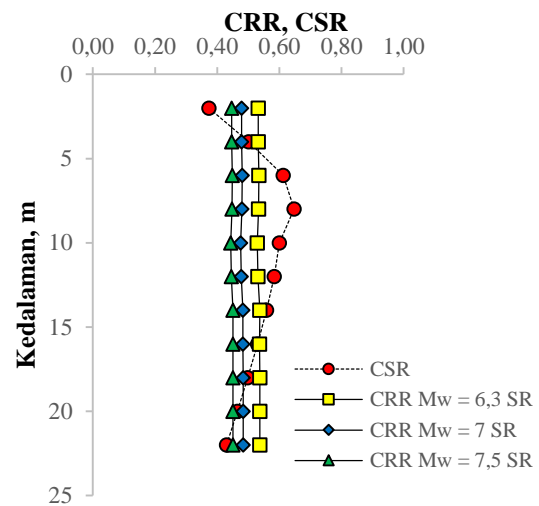
Analisis potensi likuifaksi dilakukan untuk mengetahui nilai *Safety Factor* (SF). Perhitungan nilai CRR dan CSR dihitung pada setiap lapisan tanah tersebar bervariasi. Pembahasan dari tiap metode adalah sebagai berikut.

5.3.1 Metode Seed et al. (1985)

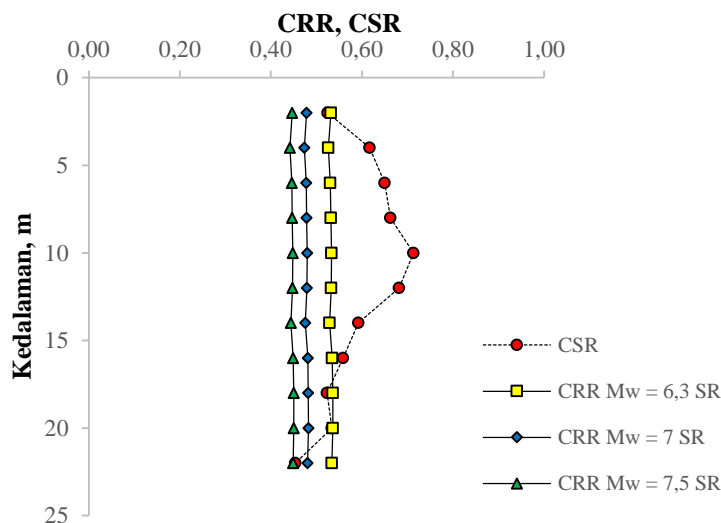
Hasil dari perhitungan pada sub bab 5.2.1 ditampilkan dalam bentuk Grafik sebagai berikut. Penyebaran nilai CRR dengan menggunakan metode Seed et al. (1985) dapat dilihat dalam Gambar 5.2, 5.3, dan 5.4 berikut.



Gambar 5. 2 Sebaran Nilai CRR dan CSR Titik BM-K1



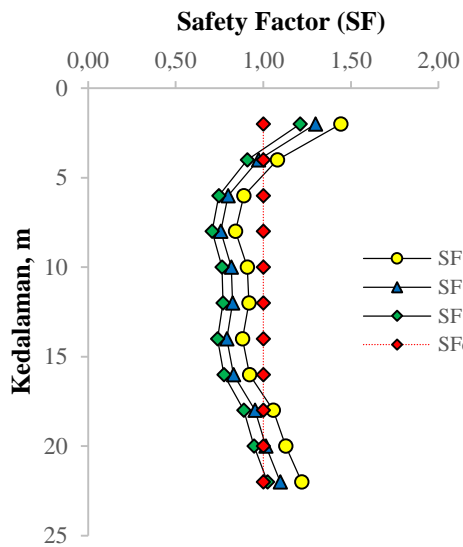
Gambar 5. 3 Sebaran Nilai CRR dan CSR Titik BM-K2



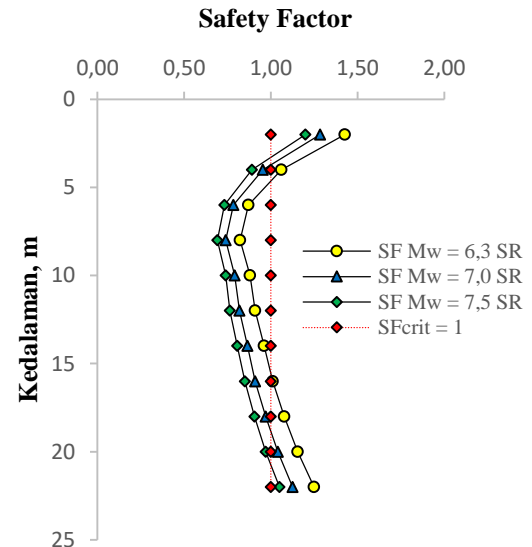
Gambar 5. 4 Sebaran Nilai CRR dan CSR Titik BM-K3

Sebaran nilai CRR dan CSR diambil berdasarkan data pada Tabel 5.3 Rekapitulasi menggunakan metode Seed et al. (1985). Sumbu x menunjukkan nilai CRR dan CSR, sedangkan sumbu y merupakan kedalaman lapisan. Bentuk kotak berwarna kuning menunjukkan nilai CRR dengan beban gempa 6,3 SR, bentuk belah ketupat berwarna biru menunjukkan nilai CRR dengan beban gempa 7,0 SR, bentuk segitiga berwarna hijau menunjukkan nilai CRR dengan beban gempa 7,5 SR, sedangkan bentuk bulat merah dengan garis putus – putus menunjukkan nilai CSR.

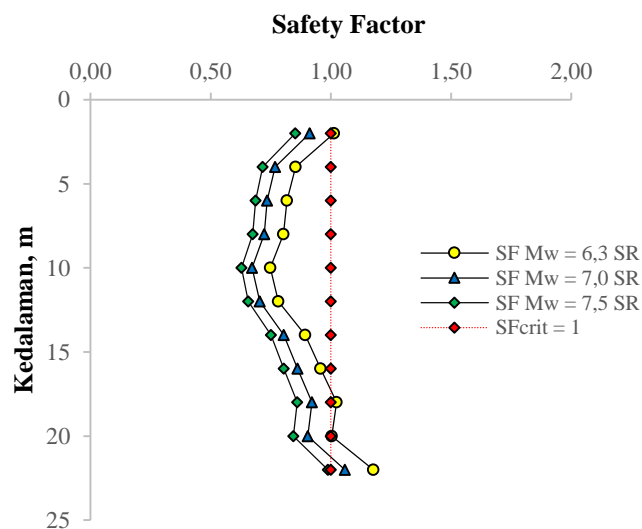
Nilai CRR bervariasi antara 0,442 sampai 0,537. Dapat dilihat pada Gambar 5.3, Gambar 5.4, dan Gambar 5.5 nilai CRR dengan gempa 6,3 SR lebih besar dari beban gempa 7,0 dan 7,5 SR. Sedangkan nilai CSR memiliki variasi antara 0,373 sampai 0,638. Berdasarkan grafik diatas bahwa nilai CRR berbanding terbalik dengan beban gempa yang diberikan. Nilai CRR akan semakin besar bila beban gempa nya kecil. Setelah mencari nilai CRR dan CSR, dapat dianalisis dengan membandingkan kedua nilai tersebut sehingga didapat nilai *Safety Factor*. Adapun grafik *Safety Factor* dapat dilihat dalam Gambar 5.5, 5.6, dan 5.7 berikut.



Gambar 5. 5 Potensi Likuifaksi Titik BM-K1 Metode Seed et al. (1985)



Gambar 5. 6 Potensi Likuifaksi Titik BM-K2 Metode Seed et al. (1985)



Gambar 5. 7 Potensi Likuifaksi Titik BM-K3 Metode Seed et al. (1985)

Grafik diatas merupakan grafik yang menunjukkan nilai *Safety Factor* (SF) berbanding kedalaman lapisan tanah sesuai dengan uji lapangan. Nilai SF dapat dihitung dengan perbandingan antara nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR). Nilai SF didefinisikan berdasarkan Persamaan 3.11 yang

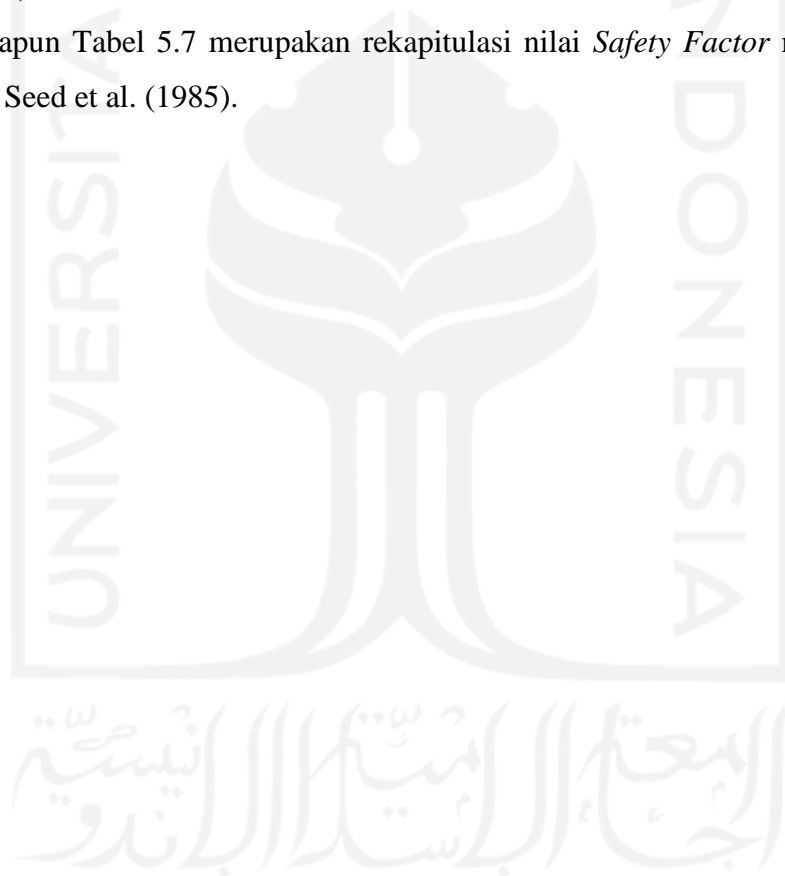
telah dirumuskan oleh Youd dan Idriss (2001). Bila nilai SF lebih dari 1 maka pada keadaan tersebut tidak berpotensi likuifaksi, bila nilai SF kurang dari 1, lapisan tanah berpotensi mengalami likuifaksi, kemudian bila nilai SF sama dengan 1, maka keadaan lapisan tersebut kritis berpotensi likuifaksi. Pada metode Seed et al. (1985) nilai CRR dipengaruhi oleh nilai MSF gempa, sehingga rumus CRR dikalikan dengan nilai MSF.

Sumbu x merupakan nilai SF dan sumbu y merupakan kedalaman lapisan tanah. Bentuk lingkaran berwarna kuning dengan garis lurus merupakan nilai SF $M_w = 6,3$ SR. Bentuk segitiga berwarna biru dengan garis lurus merupakan nilai SF $M_w = 7,0$ SR. Bentuk belah ketupak berwarna hijau dengan garis lurus merupakan nilai SF $M_w = 7,5$ SR, sedangkan bentuk belah ketupak berwarna merah dengan garis putus – putus merupakan batas nilai SF *critical*. Dari Gambar 5.5, dapat dilihat bahwa pada kedalaman 6 sampai 20 m berpotensi mengalami likuifaksi, sedangkan pada kedalaman lapisan lainnya tidak berpotensi mengalami likuifaksi. Dapat dilihat pada grafik bahwa pada kedalaman 6 sampai 16 m nilai SF < 1 karena batas SF (SF_{crit}) sama dengan satu. Nilai SF pada titik BM-K1 dengan gempa $M_w = 6,3$ SR bervariasi mulai dari 0,842 sampai 1,442. Nilai SF dengan beban gempa $M_w = 7,0$ SR, lapisan kedalaman 4 sampai 18 m berpotensi mengalami likuifaksi, karena nilai SF < 1 , nilai SF bervariasi dari 0,758 sampai 1,298.

Nilai SF dengan beban gempa $M_w = 7,5$ SR, kedalaman 4 sampai 20 m berpotensi mengalami likuifaksi, karena nilai SF < 1 , nilai SF bervariasi dari 0,707 sampai 1,211. Dari Gambar 5.6 Pada titik BM-K2 dengan $M_w = 6,3$ SR, dapat dilihat bahwa pada kedalaman 6 sampai 14 m berpotensi mengalami likuifaksi, sedangkan pada kedalaman lapisan lainnya tidak berpotensi mengalami likuifaksi. Nilai SF pada titik BM-K2 dengan gempa $M_w = 6,3$ SR bervariasi mulai dari 0,823 sampai 1,427. Nilai SF dengan $M_w = 7,0$ SR, kedalaman 4 sampai 18 m berpotensi mengalami likuifaksi, karena nilai SF < 1 , nilai SF bervariasi dari 0,740 sampai 1,284. Nilai SF dengan beban gempa $M_w = 7,5$ SR, kedalaman 4 sampai 20 m berpotensi terlikuifaksi. Nilai SF bervariasi dari 0,691 sampai 1,199.

Dari Gambar 5.7 potensi likuifaksi dengan $M_w = 6,3$ SR terjadi pada kedalaman 4 sampai 16, sedangkan pada kedalaman lapisan lainnya tidak berpotensi mengalami likuifaksi. Dapat dilihat pada grafik, nilai $SF < 1$ karena batas SF (SF_{crit}) sama dengan satu. Nilai SF pada titik BM-K2 dengan gempa $M_w=6,3$ SR bervariasi mulai dari 0,747 sampai 1,176. Nilai SF dengan $M_w = 7,0$ SR, kedalaman 2 sampai 20 m berpotensi mengalami likuifaksi, karena nilai $SF < 1$, nilai SF bervariasi dari 0,673 sampai 1,059. Nilai SF dengan $M_w = 7,5$ SR, kedalaman 2 sampai 22 m berpotensi mengalami likuifaksi, nilai SF bervariasi dari 0,628 sampai 0,988.

Adapun Tabel 5.7 merupakan rekapitulasi nilai *Safety Factor* menggunakan metode Seed et al. (1985).



Tabel 5. 17 Rekapitulasi Nilai *Safety Factor* Metode Seed et al. (1985) Pada Titik BM-K1

Kedalaman (H) (m)	SF Mw = 6,3 SR	SF Mw = 7 SR	SF Mw = 7,5 SR	Jenis Tanah	*Keterangan Mw = 6,3 SR	*Keterangan Mw = 7 SR	*Keterangan Mw = 7,5 SR
2	1,442	1,298	1,211	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi
4	1,081	0,973	0,908	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
6	0,888	0,799	0,746	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
8	0,842	0,758	0,707	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
10	0,909	0,818	0,764	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
12	0,917	0,825	0,770	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
14	0,881	0,792	0,740	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
16	0,922	0,830	0,775	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
18	1,058	0,952	0,888	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
20	1,128	1,015	0,947	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi
22	1,219	1,097	1,024	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi

* Keterangan: Potensi Likuifaksi Berdasarkan Tsuchida (1970).

Tabel 5. 18 Rekapitulasi Nilai *Safety Factor* Metode Seed et al. (1985) Pada Titik BM-K2

Kedalaman (m)	SF Mw = 6,3 SR	SF Mw = 7 SR	SF Mw = 7,5 SR	Jenis Tanah	*Keterangan Mw = 6,3 SR	*Keterangan Mw = 7 SR	*Keterangan Mw = 7,5 SR
2	1,427	1,284	1,199	Pasir berkerikil, sedikit butiran halus	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi
4	1,061	0,954	0,891	Pasir berkerikil, sedikit butiran halus	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
6	0,872	0,784	0,732	Pasir berkerikil, sedikit butiran halus	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
8	0,823	0,740	0,691	Pasir berkerikil, sedikit butiran halus	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
10	0,880	0,792	0,739	Pasir berkerikil, sedikit butiran halus	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
12	0,910	0,819	0,764	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
14	0,961	0,865	0,807	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
16	1,012	0,910	0,850	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
18	1,077	0,970	0,905	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
20	1,155	1,040	0,971	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi
22	1,250	1,125	1,050	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi

* Keterangan: Potensi Likuifaksi Berdasarkan Tsuchida (1970).

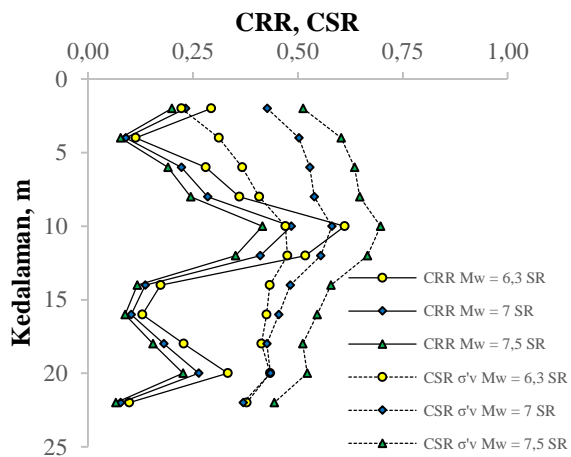
Tabel 5. 19 Rekapitulasi Nilai *Safety Factor* Metode Seed et al. (1985) Pada Titik BM-K3

Kedalaman (m)	SF Mw = 6,3 SR	SF Mw = 7 SR	SF Mw = 7,5 SR	Jenis Tanah	*Keterangan Mw = 6,3 SR	*Keterangan Mw = 7 SR	*Keterangan Mw = 7,5 SR
2	1,013	0,912	0,851	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
4	0,853	0,767	0,716	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
6	0,817	0,735	0,686	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
8	0,803	0,722	0,674	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
10	0,747	0,673	0,628	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
12	0,782	0,703	0,656	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
14	0,893	0,804	0,750	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
16	0,957	0,861	0,804	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
18	1,024	0,921	0,860	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
20	1,004	0,903	0,843	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
22	1,003	0,902	0,842	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi

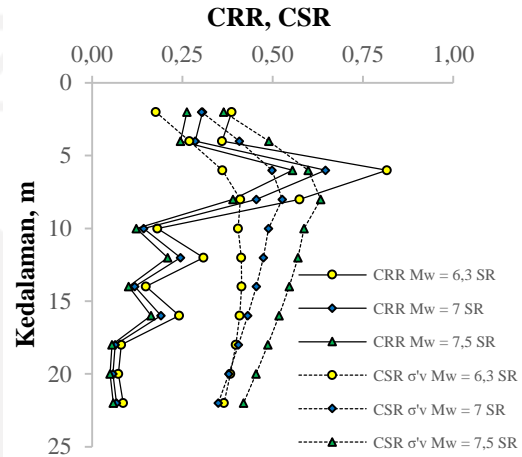
* Keterangan: Potensi Likuifaksi Berdasarkan Tsuchida (1970).

5.3.2 Metode Cetin et al. (2004)

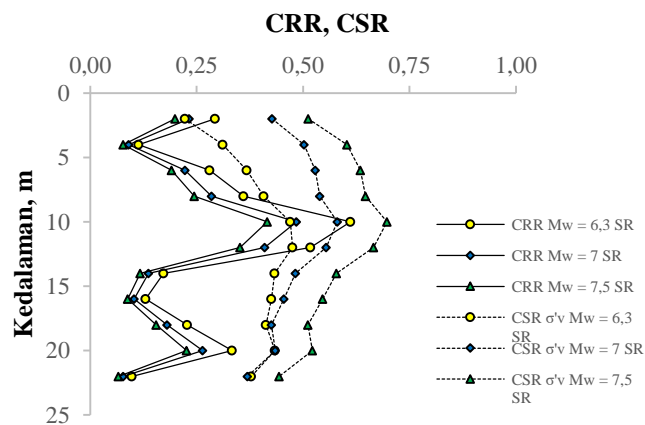
Hasil dari perhitungan pada sub bab 5.2.2 dituangkan dalam bentuk Grafik Penyebaran nilai CRR dengan menggunakan metode Cetin et al. (2004) ditunjukkan dalam Gambar 5.8, 5.9, dan 5.10 berikut.



Gambar 5. 8 Sebaran Nilai CRR dan CSR Titik BM-K1



Gambar 5. 9 Sebaran Nilai CRR dan CSR Titik BM-K2

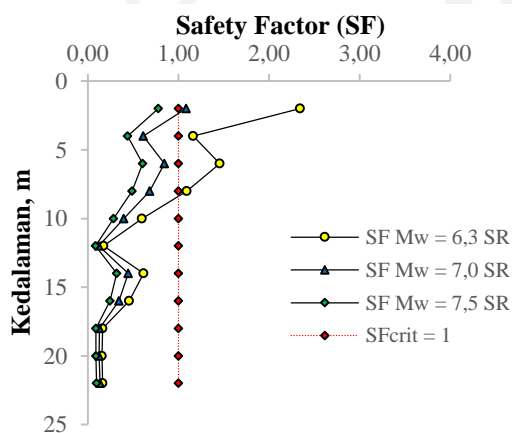


Gambar 5. 10 Sebaran Nilai CRR dan CSR Titik BM-K3

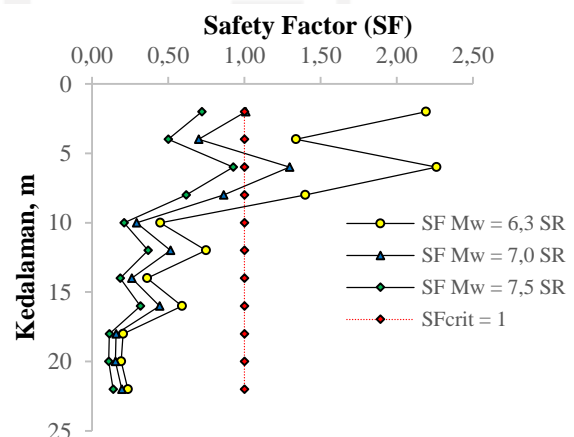
Sebaran nilai CRR dan CSR diambil berdasarkan data pada Tabel 5.5 Rekapitulasi menggunakan metode Cetin et al. (2004). Bentuk Lingkaran berwarna kuning, belah ketupat berwarna biru, dan segitiga berwarna hijau dengan garis lurus menunjukkan nilai CRR dengan Mw = 6,3 SR, 7,0 SR, dan 7,5 SR. Sedangkan bentuk lingkaran berwarna kuning, belah ketupat berwarna biru, dan segitiga

berwarna hijau dengan garis putus – putus menunjukkan nilai CSR $\sigma'_{v=1atm}$ dengan $M_w = 6,3, 7,0, \text{ dan } 7,5$ SR. Perhitungan nilai CRR dan CSR dengan metode ini berbeda dengan metode Seed et al. (1985). Nilai CRR dipengaruhi oleh besarnya *moment magnitude* (M_w) serta koefisien yang dijabarkan pada Tabel 3.5. Adapun nilai CSR yang dihitung dengan menggunakan metode Seed dan Idriss (1971) perlu dikali dengan nilai koreksi agar nilai CSR berada pada keadaan 1 atmosfer.

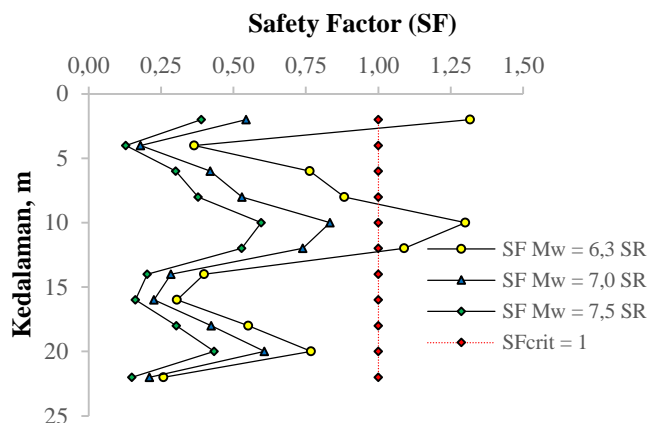
Nilai koreksi untuk nilai CSR $\sigma'_{v=1atm}$ dijabarkan dalam Persamaan 3.16. Nilai CRR dengan $M_w = 6,3$ SR bervariasi antara 0,059 sampai 0,416, dengan beban gempa $M_w = 7,0$ SR, nilai CRR antara 0,047 sampai 0,329, sedangkan bila terjadi gempa $M_w = 7,5$ SR nilai variasi CRR berkisar 0,040 sampai 0,55. Nilai CSR $\sigma'_{v=1atm}$ dengan $M_w = 6,3$ SR antara 0,177 sampai 0,445, bila terjadi gempa $M_w = 7,0$ SR nilai CSR bervariasi antara 0,303 sampai 0,519, sedangkan bila gempa $M_w = 7,5$ SR, variasi nilai CSR antara 0,364 sampai 0,623. Dapat ditarik kesimpulan berdasarkan grafik diatas bahwa nilai CRR akan semakin besar bila terjadi gempa yang kecil, dan sebaliknya. Setelah mencari nilai CRR dan CSR, dapat dianalisis dengan membandingkan kedua nilai tersebut sehingga didapat nilai *Safety Factor*. Adapun grafik *Safety Factor* dapat dilihat dalam Gambar 5.11, 5.12, dan 5.13 berikut.



Gambar 5. 11 Potensi Likuifaksi Titik BM-K2 Metode Cetin et al. (2004)



Gambar 5. 12 Potensi Likuifaksi Titik BM-K1 Metode Cetin et al. (2004)



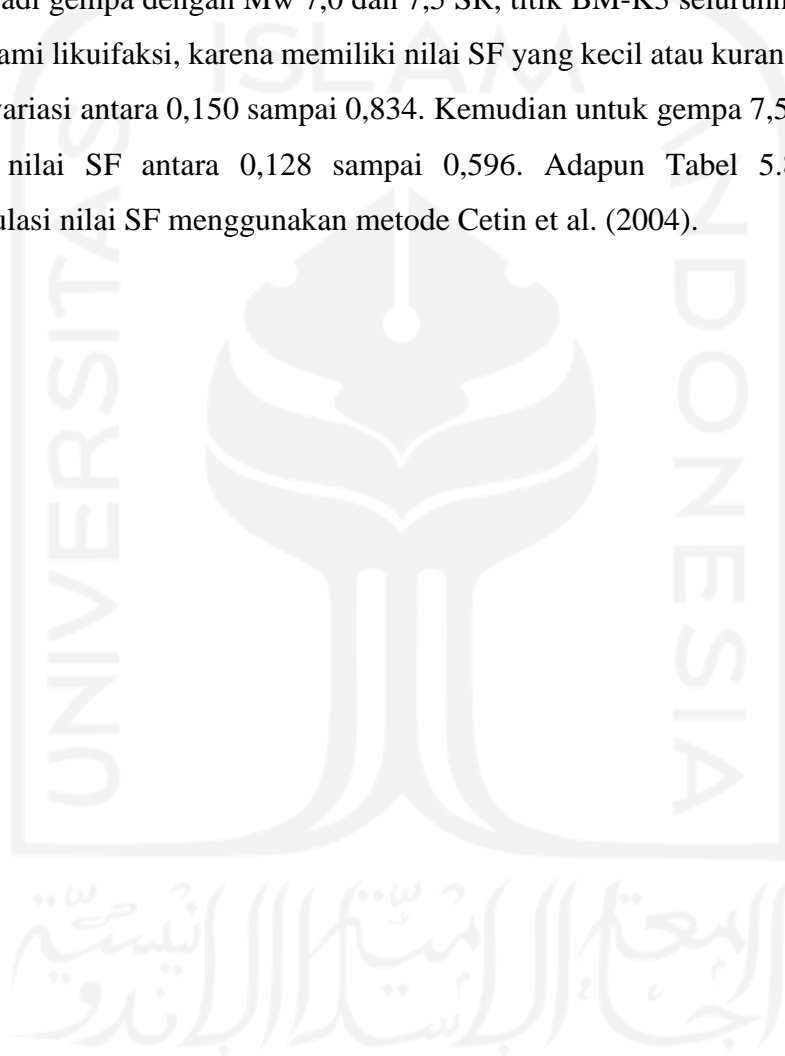
Gambar 5. 13 Potensi Likuifaksi Titik BM-K1 Metode Cetin et al. (2004)

Grafik diatas menunjukkan nilai *Safety Factor* (SF) berbanding kedalaman lapisan tanah. Nilai SF dapat dihitung dengan perbandingan antara nilai CRR dan nilai CSR. Sumbu x merupakan nilai SF dan sumbu y merupakan kedalaman lapisan tanah. Bentuk lingkaran berwarna kuning dengan garis lurus merupakan nilai SF Mw = 6,3 SR. Bentuk segitiga berwarna biru dengan garis lurus merupakan nilai SF Mw = 7,0 SR. Bentuk belah ketupat berwarna hijau dengan garis lurus merupakan nilai SF Mw = 7,5 SR, sedangkan bentuk belah ketupak berwarna merah dengan garis putus – putus merupakan batas nilai SF *critical*.

Hasil dari perhitungan pada sub bab 5.2.2, Gambar 5.11 menunjukkan grafik pada titik BM-K1, Nilai SF dengan Mw = 6,3 SR, kedalaman 2 sampai 8 m tidak berpotensi likuifaksi, sedangkan pada kedalaman 10 sampai 22 m berpotensi mengalami likuifaksi, dengan nilai SF bervariasi antara 0,164 sampai dengan 2,344. Bila terjadi gempa dengan Mw = 7,0 SR, kedalaman 2 m tidak berpotensi mengalami likuifaksi karena nilai SF >1, nilai SF bervariasi dari 0,122 sampai 1,086. Hasil SF dengan Mw = 7,5 SR, seluruh lapisan berpotensi mengalami likuifaksi. Nilai SF bervariasi dari 0,088 sampai 0,776.

Gambar 5.12 merupakan hasil analisis potensi likuifaksi pada titik BM-K2. Bila terjadi gempa dengan Mw = 6,3 SR kedalaman 2 sampai 8 m tidak berpotensi likuifaksi. Nilai SF memiliki variasi dari 0,190 sampai dengan 2,192. Bila beban gempa Mw = 7,0 SR, kedalaman 2 dan 6 yang tidak berpotensi likuifaksi, sedangkan lapisan tanah lainnya berpotensi mengalami likuifaksi. Nilai

SF bervariasi dari 0,153 sampai 1,008. Sedangkan dengan $M_w = 7,5$ SR, seluruh lapisan tanah berpotensi mengalami likuifaksi karena nilai SF tidak ada yang mencapai angka 1. Variasi nilai SF yakni 0,109 sampai 0,721. Pada Gambar 5.13, Titik BM-K3 dengan $M_w = 6,3$ SR tidak berpotensi mengalami likuifaksi pada kedalaman 2, 10, dan 12 m. Nilai SF bervariasi antara 0,259 sampai 1,317. Adapun bila terjadi gempa dengan $M_w 7,0$ dan $7,5$ SR, titik BM-K3 seluruhnya berpotensi mengalami likuifaksi, karena memiliki nilai SF yang kecil atau kurang dari 1. Nilai SF bervariasi antara 0,150 sampai 0,834. Kemudian untuk gempa $7,5$ SR memiliki variasi nilai SF antara 0,128 sampai 0,596. Adapun Tabel 5.8 merupakan rekapitulasi nilai SF menggunakan metode Cetin et al. (2004).



Tabel 5. 20 Rekapitulasi Nilai *Safety Factor* Metode Cetin et al. (2004) Pada Titik BM-K1

Kedalaman (m)	SF Mw = 6,3 SR	SF Mw = 7 SR	SF Mw = 7,5 SR	Jenis Tanah	*Keterangan Mw = 6,3 SR	*Keterangan Mw = 7 SR	*Keterangan Mw = 7,5 SR
2	2,344	1,086	0,776	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi
4	1,162	0,613	0,438	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
6	1,457	0,845	0,604	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
8	1,092	0,682	0,487	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
10	0,596	0,395	0,283	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
12	0,176	0,122	0,087	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
14	0,614	0,445	0,318	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
16	0,457	0,343	0,245	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
18	0,163	0,126	0,090	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
20	0,155	0,124	0,088	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
22	0,164	0,135	0,097	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi

* Keterangan: Potensi Likuifaksi Berdasarkan Tsuchida (1970).

Tabel 5. 21 Rekapitulasi Nilai *Safety Factor* Metode Cetin et al. (2004) Pada Titik BM-K2

Kedalaman (m)	SF	SF	SF	Jenis Tanah	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan
	Mw = 6,3 SR	Mw = 7 SR	Mw = 7,5 SR		Mw = 6,3 SR	Mw = 7 SR	Mw = 7,5 SR
2	2,192	1,008	0,721	Pasir berkerikil, sedikit butiran halus	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi
4	1,337	0,699	0,500	Pasir berkerikil, sedikit butiran halus	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
6	2,261	1,297	0,927	Pasir berkerikil, sedikit butiran halus	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi
8	1,400	0,864	0,617	Pasir berkerikil, sedikit butiran halus	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
10	0,447	0,293	0,209	Pasir berkerikil, sedikit butiran halus	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
12	0,748	0,515	0,368	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
14	0,360	0,260	0,186	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
16	0,590	0,442	0,316	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
18	0,203	0,158	0,113	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
20	0,190	0,153	0,109	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
22	0,235	0,195	0,139	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi

* Keterangan: Potensi Likuifaksi Berdasarkan Tsuchida (1970).

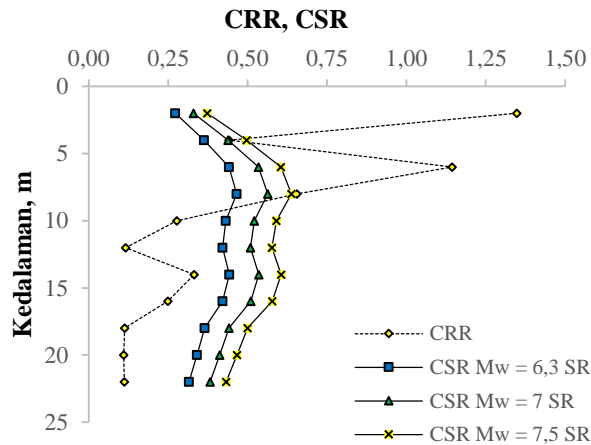
Tabel 5. 22 Rekapitulasi Nilai *Safety Factor* Metode Cetin et al. (2004) Pada Titik BM-K3

Kedalaman (m)	SF Mw = 6,3 SR	SF Mw = 7 SR	SF Mw = 7,5 SR	Jenis Tanah	*Keterangan Mw = 6,3 SR	*Keterangan Mw = 7 SR	*Keterangan Mw = 7,5 SR
2	1,317	0,544	0,389	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
4	0,365	0,179	0,128	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
6	0,764	0,421	0,301	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
8	0,883	0,529	0,378	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
10	1,301	0,834	0,596	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
12	1,090	0,739	0,528	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
14	0,399	0,284	0,203	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
16	0,305	0,226	0,162	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
18	0,552	0,424	0,303	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
20	0,768	0,606	0,434	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
22	0,259	0,210	0,150	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi

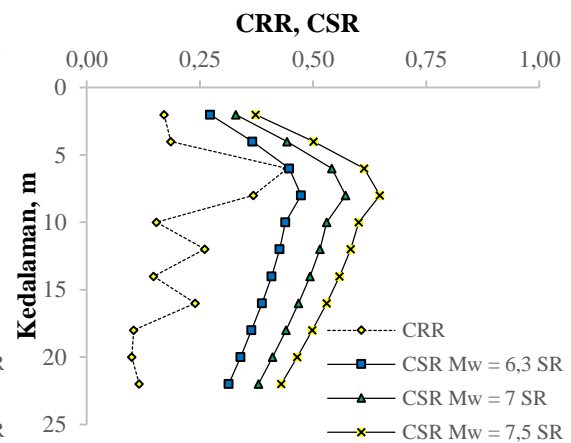
* Keterangan: Potensi Likuifaksi Berdasarkan Tsuchida (1970).

5.3.3 Metode HBF (2012)

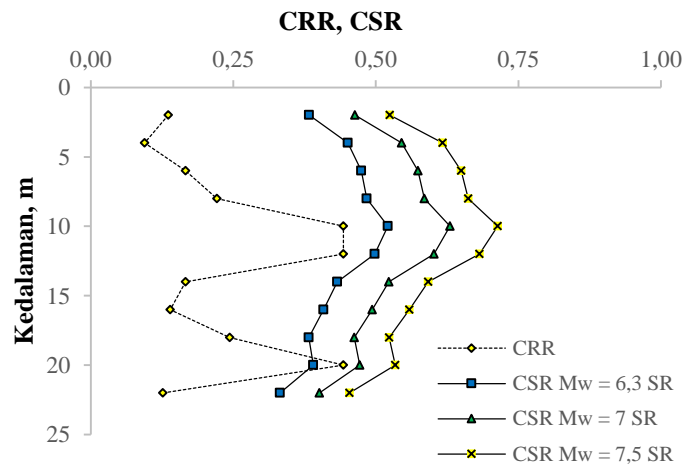
Penyebaran nilai CRR dengan menggunakan metode HBF (2012) ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.14, 5.15, dan 5.16 berikut.



Gambar 5. 14 Sebaran Nilai CRR dan CSR Titik BM-K1



Gambar 5. 15 Sebaran Nilai CRR dan CSR Titik BM-K2

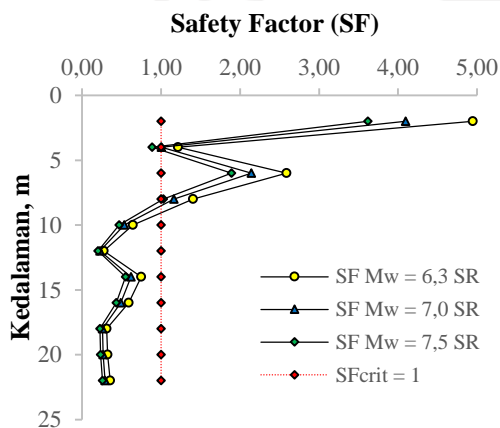


Gambar 5. 16 Sebaran Nilai CRR dan CSR Titik BM-K3

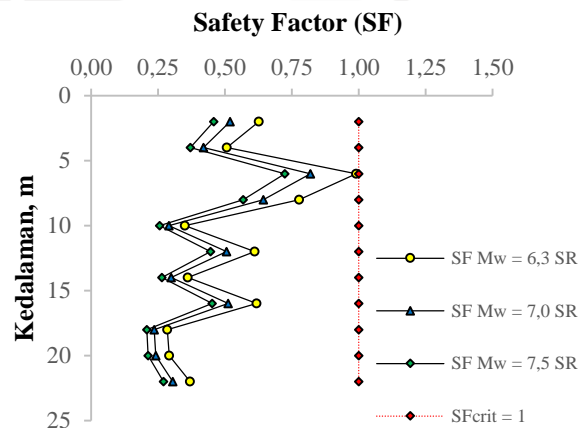
Sebaran nilai CRR dan CSR diambil berdasarkan data pada Tabel 5.6 Rekapitulasi menggunakan metode HBF (2012). Bentuk Lingkaran berwarna kuning dengan garis putus putus menunjukkan nilai CRR, sedangkan bentuk persegi, segitiga, dan garis silang menunjukkan nilai CSR. Perhitungan nilai CRR dan CSR dengan metode ini berbeda dengan metode Seed et al. (1985) dan metode cetin et al. (2004). Nilai CRR dipengaruhi oleh koefisien Hwang yang dijabarkan

pada Tabel 3.3. sedangkan nilai CSR dipengaruhi oleh nilai MSF yang tertera pada Persamaan 3.17. Sumbu x pada grafik menunjukkan nilai CRR dan CSR, sumbu y pada grafik menunjukkan kedalaman lapisan tanah.

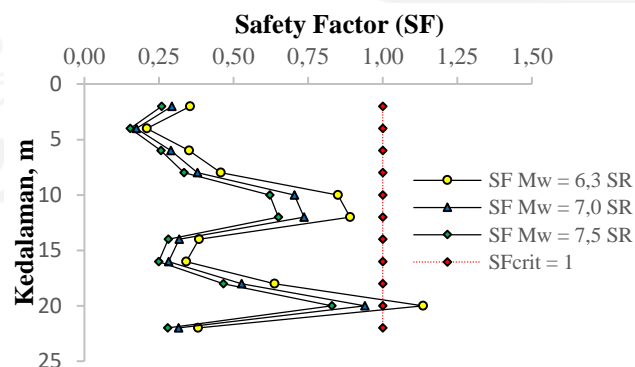
Nilai CRR bervariasi berkisar 0,10 sampai 1,35. Nilai CSR dengan $M_w = 6,3$ SR antara 0,27 sampai 0,47, bila terjadi gempa $M_w = 7,0$ SR nilai CSR bervariasi antara 0,33 sampai 0,53, sedangkan bila gempa $M_w = 7,5$ SR, variasi nilai CSR antara 0,37 sampai 0,64. Setelah mencari nilai CRR dan CSR, dapat dianalisis dengan membandingkan kedua nilai tersebut sehingga didapat nilai *Safety Factor*. Adapun grafik *Safety Factor* dapat dilihat dalam Gambar 5.17, 5.18, dan 5.19 berikut.



Gambar 5. 17 Potensi Likuifaksi Titik BM-K1 Metode Metode HBF (2012)



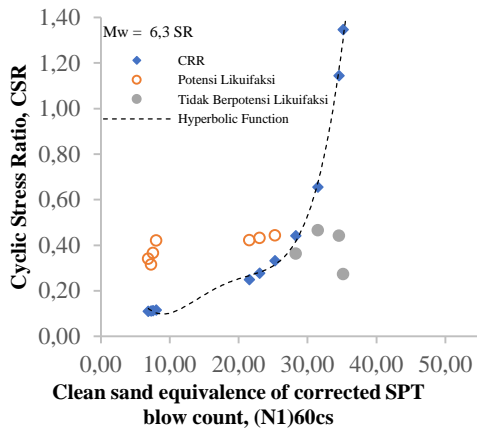
Gambar 5. 18 Potensi Likuifaksi Titik BM-K2 Metode HBF (2012)



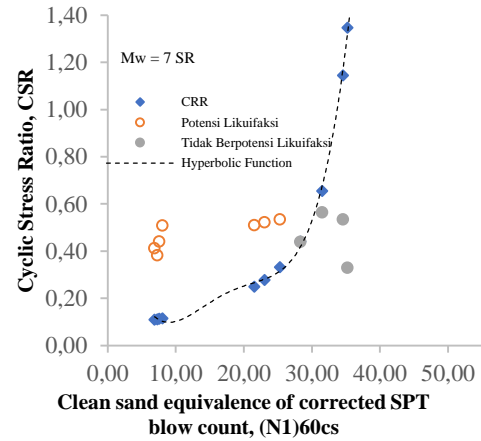
Gambar 5. 19 Potensi Likuifaksi Titik BM-K1 Metode HBF (2012)

Sumbu x merupakan nilai SF dan sumbu y merupakan kedalaman lapisan tanah. Bentuk lingkaran berwarna kuning dengan garis lurus merupakan nilai SF $M_w = 6,3$ SR. Bentuk segitiga berwarna biru dengan garis lurus merupakan nilai SF $M_w = 7,0$ SR. Bentuk belah ketupak berwarna hijau dengan garis lurus merupakan nilai SF $M_w = 7,5$ SR, sedangkan bentuk belah ketupak berwarna merah dengan garis putus – putus merupakan batas nilai SF *critical*.

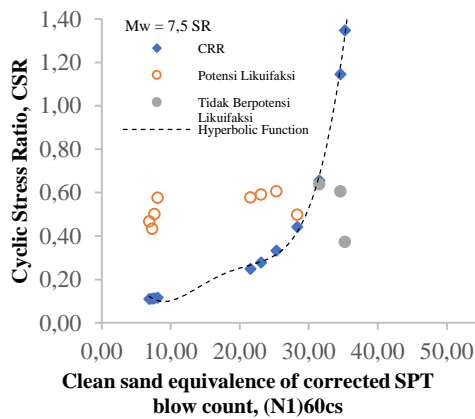
Pada titik BM-K1 dengan $M_w = 6,3$ SR yakni Gambar 5.17, pada kedalaman 2 sampai 8 m tidak berpotensi mengalami likuifaksi, variasi nilai SF berkisar antara 0,27 sampai 4,95. Bila terjadi gempa $M_w 7,0$ SR, kedalaman 2 sampai 8 m tidak berpotensi mengalami likuifaksi. Nilai SF bervariasi antara 0,23 sampai 4,09. Sedangkan bila $M_w = 7,5$ SR, grafik menunjukkan bahwa pada kedalaman 2, 6, dan 8 m tidak berpotensi likuifaksi dengan variasi 0,23 sampai 3,62. Gambar 5.18 menunjukkan potensi likuifaksi pada titik BM-K2. Nilai SF dengan $M_w = 6,3, 7,0, \text{ dan } 7,5$ SR dapat dilihat bahwa pada seluruh lapisan berpotensi mengalami likuifaksi. Nilai SF bervariasi antara 0,21 sampai 0,99. Gambar 5.19 menunjukkan potensi likuifaksi pada titik BM-K3 nilai SF dengan variasi magnitudo gempa $M_w = 6,3, 7,0, 7,5$ SR. pada grafik dapat dilihat bahwa hanya pada kedalaman 20 m dengan gempa 6,3 SR yang tidak berpotensi terlikuifaksi. Adapun variasi nilai SF pada titik BM-K3 berkisar antara 0,15 sampai 1,14. Adapun bila analisis dilakukan menggunakan metode HBF (2012), jumlah titik yang berpotensi atau tidak terlikuifaksi dapat dilihat dalam grafik perbandingan nilai $N_{1(60)CS}$ dan nilai CSR berikut.



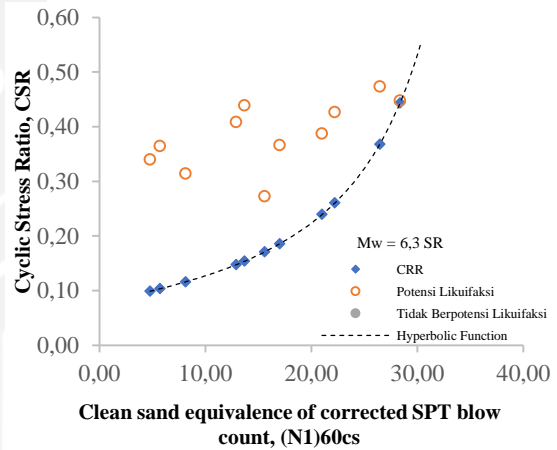
Gambar 5. 20 Grafik HBF Titik BM-K1 Mw =6,3 SR



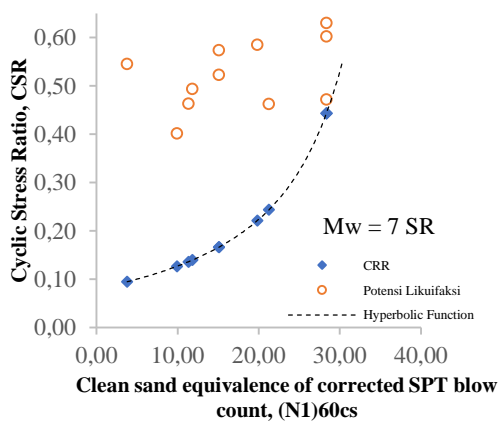
Gambar 5. 21 Grafik HBF Titik BM-K1 Mw = 7,0 SR



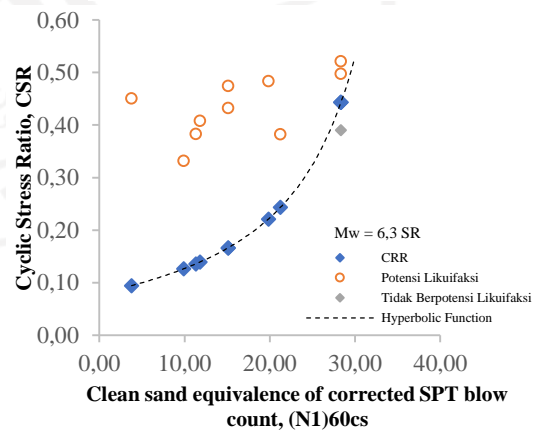
Gambar 5. 22 Grafik HBF Titik BM-K1 Mw = 7,5 SR



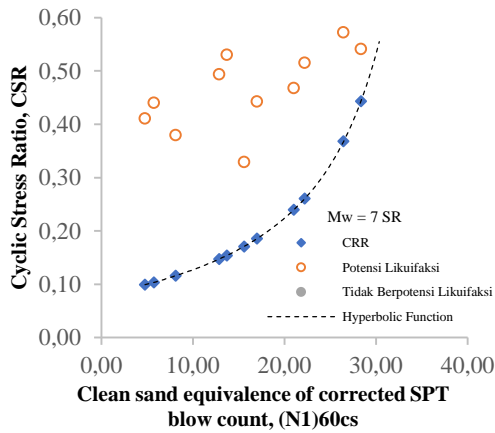
Gambar 5. 23 Grafik HBF Titik BM-K2 Mw = 6,3 SR



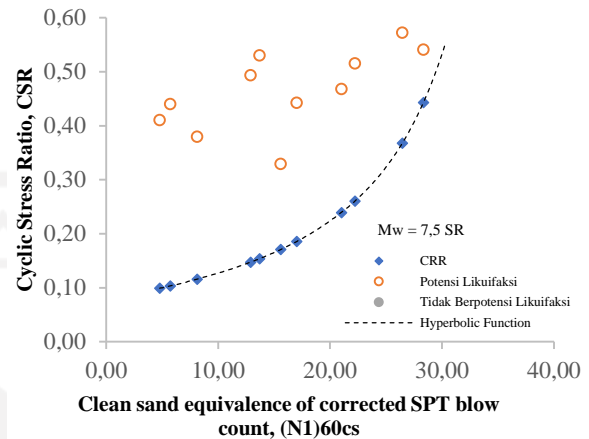
Gambar 5. 24 Grafik HBF Titik BM-K2 Mw = 7,0 SR



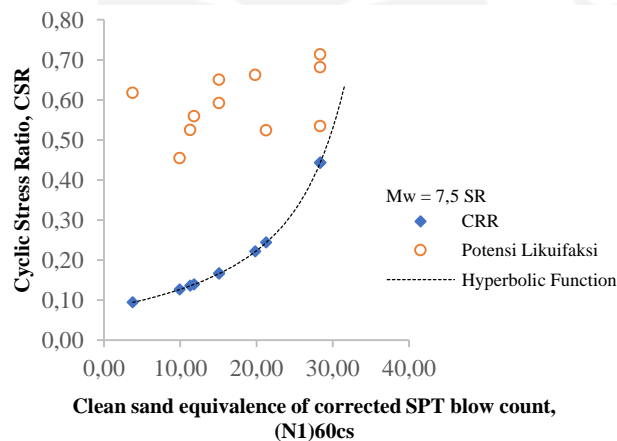
Gambar 5. 25 Grafik HBF Titik BM-K2 Mw = 7,5 SR



**Gambar 5. 26 Grafik HBF
Titik BM-K3 Mw = 6,3 SR**



**Gambar 5. 27 Grafik HBF
Titik BM-K3 Mw = 7,0 SR**



Gambar 5. 28 Grafik HBF Titik BM-K3 Mw = 7,5 SR

Grafik diatas menunjukkan lapisan kedalaman yang berpotensi mengalami likuifaksi dan tidak. Sumbu x merupakan nilai N yang telah dikoreksi yakni nilai $N_{1(60)cs}$ dan sumbu y merupakan nilai CSR, adapun dalam menentukan batas lapisan tanah yang terlikuifaksi atau tidak adalah menggunakan nilai CRR yang ditamplikan dalam bentuk grafik *polynomial* dengan warna biru. Titik berwarna jingga menunjukkan titik yang berpotensi mengalami likuifaksi, sedangkan titik berwarna abu-abu menunjukkan titik yang tidak berpotensi mengalami likuifaksi. Sebagai contoh, pada Gambar 5.20, jumlah yang tidak

berpotensi mengalami likuifaksi adalah 4 titik, sedangkan titik lainnya berpotensi. Adapun Tabel 5.9 merupakan rekapitulasi *Safety Factor* menggunakan Metode HBF (2012).



Tabel 5.23 Rekapitulasi Nilai *Safety Factor* Metode HBF (2012) Pada Titik BM-K1

Kedalaman (H) (m)	SF Mw = 6,3 SR	SF Mw = 7 SR	SF Mw = 7,5 SR	Jenis Tanah	*Keterangan Mw = 6,3 SR	*Keterangan Mw = 7 SR	*Keterangan Mw = 7,5 SR
2	4,95	4,09	3,62	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi
4	1,22	1,01	0,89	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi
6	2,59	2,14	1,89	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi
8	1,41	1,16	1,03	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi
10	0,64	0,53	0,47	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
12	0,27	0,23	0,20	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
14	0,75	0,62	0,55	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
16	0,59	0,49	0,43	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
18	0,31	0,26	0,23	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
20	0,32	0,27	0,23	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
22	0,35	0,29	0,26	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi

* Keterangan: Potensi Likuifaksi Berdasarkan Tsuchida (1970).

Tabel 5. 24 Rekapitulasi Nilai *Safety Factor* Metode HBF (2012) Pada Titik BM-K2

Kedalaman (m)	SF Mw = 6,3 SR	SF Mw = 7 SR	SF Mw = 7,5 SR	Jenis Tanah	*Keterangan Mw = 6,3 SR	*Keterangan Mw = 7 SR	*Keterangan Mw = 7,5 SR
2	0,63	0,52	0,46	Pasir berkerikil, sedikit butiran halus	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
4	0,51	0,42	0,37	Pasir berkerikil, sedikit butiran halus	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
6	0,99	0,82	0,72	Pasir berkerikil, sedikit butiran halus	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
8	0,78	0,64	0,57	Pasir berkerikil, sedikit butiran halus	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
10	0,35	0,29	0,26	Pasir berkerikil, sedikit butiran halus	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
12	0,61	0,51	0,45	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
14	0,36	0,30	0,26	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
16	0,62	0,51	0,45	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
18	0,28	0,24	0,21	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
20	0,29	0,24	0,21	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
22	0,37	0,31	0,27	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi

* Keterangan: Potensi Likuifaksi Berdasarkan Tsuchida (1970).

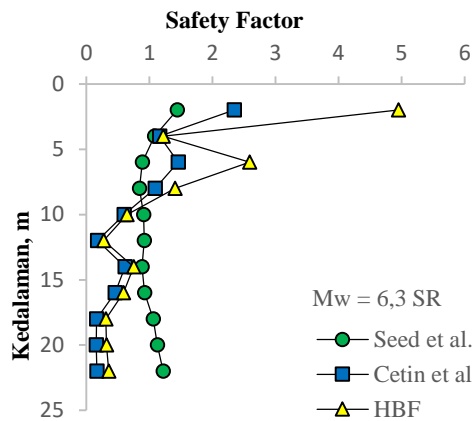
Tabel 5. 25 Rekapitulasi Nilai *Safety Factor* Metode HBF (2012) Pada Titik BM-K3

Kedalaman (m)	SF Mw = 6,3 SR	SF Mw = 7 SR	SF Mw = 7,5 SR	Jenis Tanah	*Keterangan Mw = 6,3 SR	*Keterangan Mw = 7 SR	*Keterangan Mw = 7,5 SR
2	0,35	0,29	0,26	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
4	0,21	0,17	0,15	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
6	0,35	0,29	0,26	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
8	0,46	0,38	0,33	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
10	0,85	0,70	0,62	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
12	0,89	0,74	0,65	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
14	0,38	0,32	0,28	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
16	0,34	0,28	0,25	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
18	0,64	0,53	0,47	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
20	1,14	0,94	0,83	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
22	0,39	0,32	0,29	Pasir berlanau, sedikit kerikil	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi

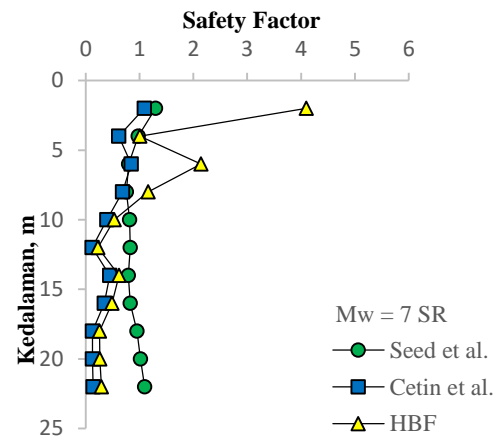
* Keterangan: Potensi Likuifaksi Berdasarkan Tsuchida (1970).

5.3.4 Perbandingan Nilai SF Dari 3 Metode

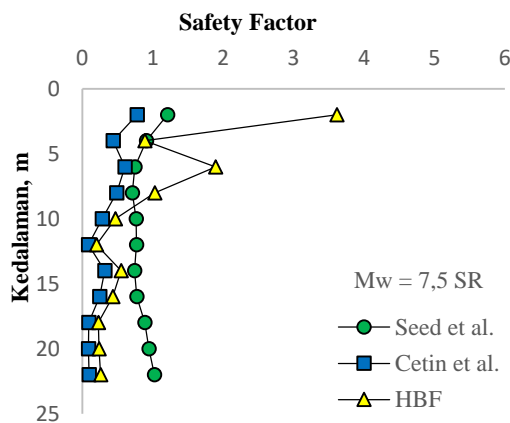
Analisis potensi likuifaksi dipengaruhi oleh *moment magnitude* (M_w) dari hasil analisis pada sub bab 5.3 dapat dibandingkan nilai SF dari ketiga metode. Adapun grafik perbandingan nilai SF ditampilkan pada Gambar 5.28 berikut.



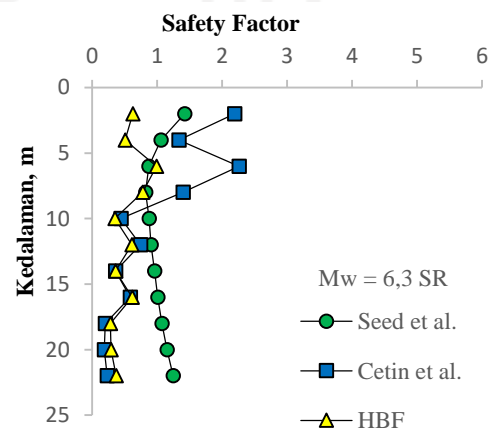
Gambar 5. 29 Grafik Perbandingan SF Titik BM-K1



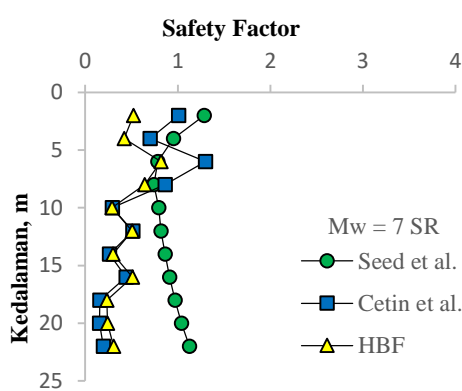
Gambar 5. 30 Grafik Perbandingan SF Titik BM-K1



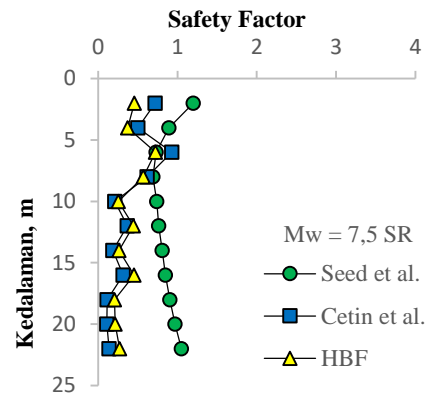
Gambar 5. 31 Grafik Perbandingan SF Titik BM-K1



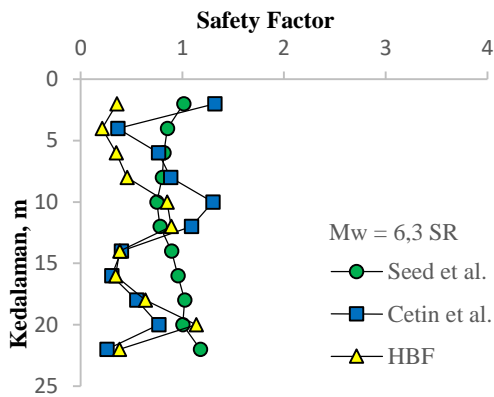
Gambar 5. 32 Grafik Perbandingan SF Titik BM-K2



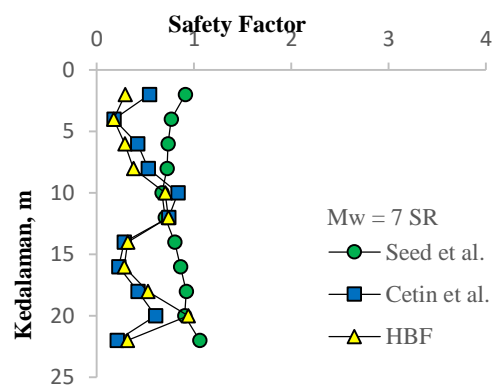
Gambar 5. 33 Grafik Perbandingan SF Titik BM-K2



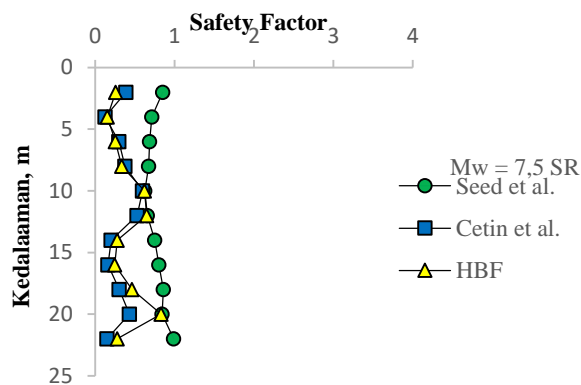
Gambar 5. 34 Grafik Perbandingan SF Titik BM-K3



Gambar 5. 35 Grafik Perbandingan SF Titik BM-K2

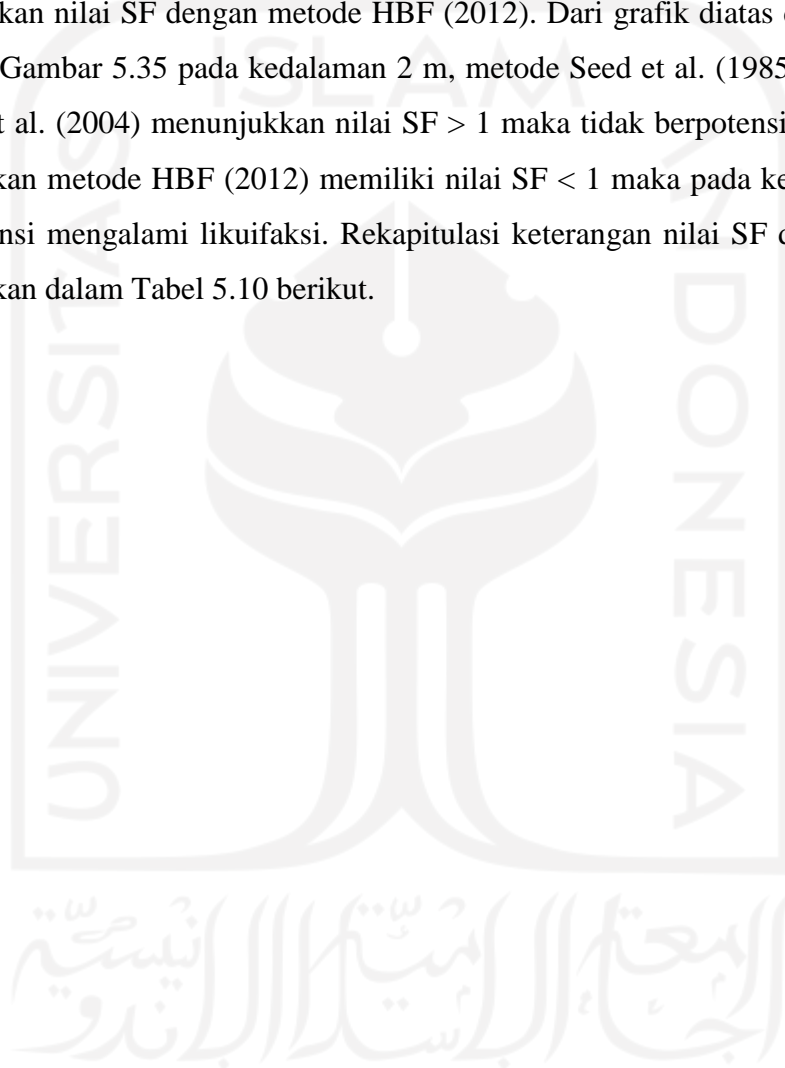


Gambar 5. 36 Grafik Perbandingan SF Titik BM-K3



Gambar 5. 37 Grafik Perbandingan SF Titik BM-K3

Grafik diatas merupakan perbandingan nilai SF dari 3 metode yang telah dilakukan analisis pada sub bab 5.3. Sumbu x merupakan nilai SF dan sumbu y merupakan kedalaman lapisan tanah. Bentuk bulat berwarna hijau merupakan nilai SF dengan metode Seed et al. (1985), bentuk persegi berwarna biru merupakan nilai SF dengan metode Cetin et al. (2004), sedangkan bentuk segitiga berwarna kuning merupakan nilai SF dengan metode HBF (2012). Dari grafik diatas dapat diambil contoh Gambar 5.35 pada kedalaman 2 m, metode Seed et al. (1985) dan metode Cetin et al. (2004) menunjukkan nilai $SF > 1$ maka tidak berpotensi terlikuifaksi, sedangkan metode HBF (2012) memiliki nilai $SF < 1$ maka pada kedalaman 2 m berpotensi mengalami likuifaksi. Rekapitulasi keterangan nilai SF dari 3 metode dijabarkan dalam Tabel 5.10 berikut.



Tabel 5. 26 Rekapitulasi Perbandingan Nilai SF Pada Titik BM-K1

Kedalaman (H) (m)	Metode Seed et al. (1985)			Metode Cetin et al. (2004)			Metode HBF (2012)		
	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan
	Mw = 6,3 SR	Mw = 7 SR	Mw = 7,5 SR	Mw = 6,3 SR	Mw = 7 SR	Mw = 7,5 SR	Mw = 6,3 SR	Mw = 7 SR	Mw = 7,5 SR
2	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi
4	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi
6	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi
8	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi
10	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
12	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
14	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
16	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
18	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
20	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
22	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi

* Keterangan: Potensi Likuifaksi Berdasarkan Tsuchida (1970).

Tabel 5. 27 Rekapitulasi Perbandingan Nilai SF Pada Titik BM-K2

Kedalaman (H) (m)	Metode Seed et al. (1985)			Metode Cetin et al. (2004)			Metode HBF (2012)		
	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan
	Mw = 6,3 SR	Mw = 7 SR	Mw = 7,5 SR	Mw = 6,3 SR	Mw = 7 SR	Mw = 7,5 SR	Mw = 6,3 SR	Mw = 7 SR	Mw = 7,5 SR
2	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
4	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
6	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
8	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
10	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
12	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
14	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
16	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
18	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
20	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
22	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi

* Keterangan: Potensi Likuifaksi Berdasarkan Tsuchida (1970).

Tabel 5. 28 Rekapitulasi Perbandingan Nilai SF Pada Titik BM-K3

Kedalaman (H) (m)	Metode Seed et al. (1985)			Metode Cetin et al. (2004)			Metode HBF (2012)		
	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan	*Keterangan
	Mw = 6,3 SR	Mw = 7 SR	Mw = 7,5 SR	Mw = 6,3 SR	Mw = 7 SR	Mw = 7,5 SR	Mw = 6,3 SR	Mw = 7 SR	Mw = 7,5 SR
2	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
4	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
6	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
8	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
10	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
12	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
14	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
16	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
18	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
20	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi
22	Tak Berpotensi	Tak Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi

* Keterangan: Potensi Likuifaksi Berdasarkan Tsuchida (1970).

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil Analisis potensi likuifaksi dengan metode metode Seed et al. (1985), Cetin et al. (2004), dan HBF (2012) yang dilakukan pada proyek Jembatan Kretek II Bantul didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil analisis potensi likuifaksi menggunakan metode Seed et al. (1985), Nilai *Safety Factor* (SF) pada Titik BM-K1 bervariasi antara 0,707 sampai 1,442, pada Titik BM-K2 variasi nilai SF berkisar antara 0,691 sampai 1,427, dan pada BM-K3 nilai SF berkisar antara 0,628 sampai 1,176,
2. Berdasarkan hasil analisis potensi likuifaksi menggunakan metode Cetin et al. (2004), Nilai *Safety Factor* (SF) pada Titik BM-K1 bervariasi antara 0,090 sampai 2,344, pada Titik BM-K2 variasi nilai SF berkisar antara 0,113 sampai 2,261, dan pada BM-K3 nilai SF berkisar antara 0,128 sampai 1,317,
3. Berdasarkan hasil analisis potensi likuifaksi menggunakan metode HBF (2012), Nilai *Safety Factor* (SF) pada Titik BM-K1 bervariasi antara 0,201 sampai 4,949, pada Titik BM-K2 variasi nilai SF berkisar antara 0,208 sampai 0,990, dan pada BM-K3 nilai SF berkisar antara 0,153 sampai 1,136,
4. Dari hasil analisis potensi likuifaksi menggunakan 3 metode diatas, dapat disimpulkan bahwa variasi magnitudo gempa berpengaruh terhadap nilai SF. Semakin besar magnitudo gempa yang terjadi, maka nilai SF semakin kecil.
5. Dari hasil analisis potensi likuifaksi metode Seed et al. (1985), titik BM-K1 bila terdapat gempa 6,3 SR berpotensi likuifaksi pada kedalaman 6 - 16 m, titik BM-K2 terjadi pada kedalaman 6 – 14 m, dan titik BM-K3 terjadi pada kedalaman 4 – 16 m, bila terdapat gempa 7,0 SR, pada titik BM-K1 dan BM-K2 berpotensi mengalami likuifaksi pada kedalaman 4 – 18 m, dan titik BM-K3 terjadi pada kedalaman 2 – 20 m, apabila terjadi gempa 7,5 SR, pada titik BM-K1 dan BM-K2 berpotensi pada kedalaman 4 – 18 m, sedangkan pada titik BM-K3 terjadi di seluruh lapisan. Dari hasil analisis potensi likuifaksi metode Cetin et al.

(2004), titik BM-K1 dan BM-K2 bila terdapat gempa 6,3 SR berpotensi mengalami likuifaksi pada kedalaman 10 – 22 m, sedangkan titik BM-K3 kedalaman 2, 10, dan 12 m tidak berpotensi mengalami likuifaksi, bila terjadi gempa 7,0 SR, BM-K1 tidak berpotensi likuifaksi di kedalaman 2 m, BM-K2 pada kedalaman 2 dan 6 m, titik BM-K3 seluruh lapisan berpotensi mengalami likuifaksi, bila terjadi gempa 7,5 SR seluruh lapisan pada titik BM-K1, BM-K2, dan BM-K3 berpotensi mengalami likuifaksi. Dari hasil analisis potensi likuifaksi metode HBF (2012) pada titik BM K1 bila terjadi gempa 6,3, 7,0, dan 7,5 SR berpotensi mengalami likuifaksi pada kedalaman 10 – 22 m, titik BM-K2 bila terjadi gempa 6,3, 7,0, dan 7,5 SR berpotensi mengalami likuifaksi di seluruh lapisan, sedangkan titik BM-K3, hanya pada kedalaman 20 m dengan gempa 6,3 SR yang tidak berpotensi mengalami likuifaksi,

6.2 Saran

Saran yang diberikan berdasarkan hasil penelitian penulis adalah sebagai berikut.

1. Analisis potensi likuifaksi dapat dilanjutkan menggunakan metode yang telah diperbaharui yang telah dikembangkan Cetin et al (2016), ataupun metode yang lebih mutakhir.
2. Untuk penelitian selanjutnya peneliti menyarankan agar memperhitungkan dampak likuifaksi terhadap keamanan Jembatan Kretek II Bantul karena likuifaksi dapat mempengaruhi kestabilan pondasi (defleksi).
3. Hasil dari analisis potensi likuifaksi dapat dibuat model peta kerentanan terhadap likuifaksi yang terjadi pada titik pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

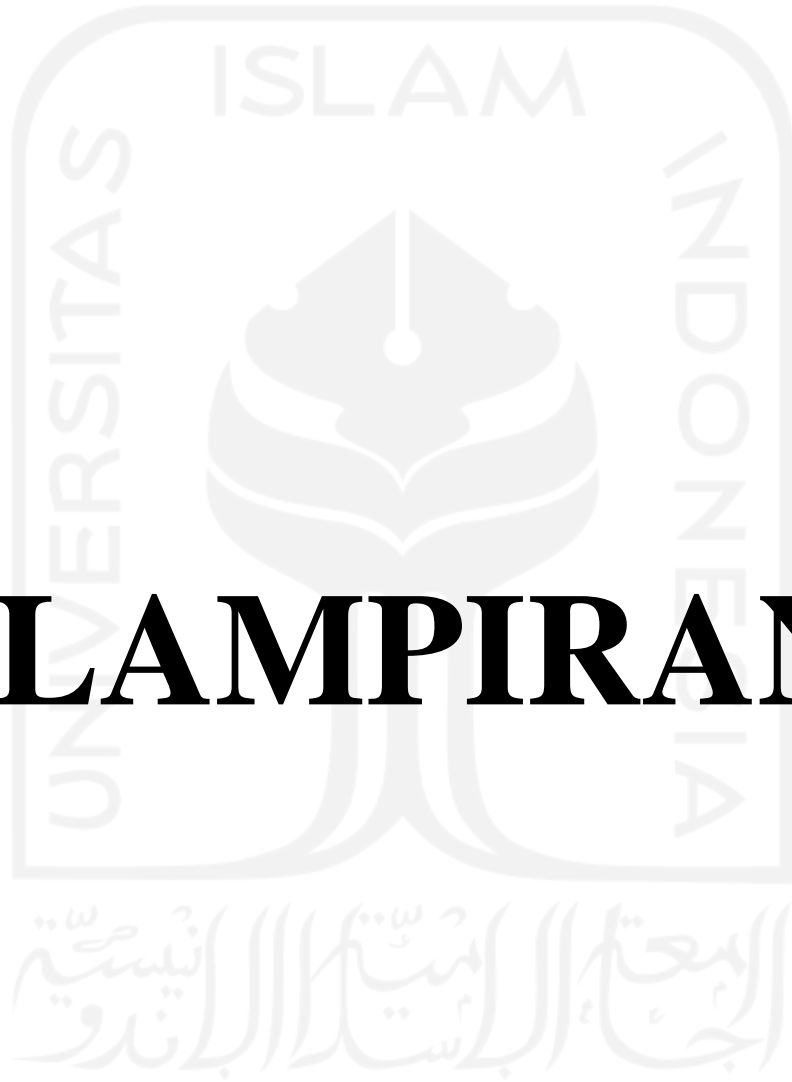
- Acevedo, Andrés & Passini, Larissa De Brum & Boszczowski, Roberta & Kormann, Alessandro & Fiori, Alberto. (2019). *Geological-Geotechnical Characterization of Slopes Belonging to the Serra do Mar Paranaense, Brazil*. *Soils and Rocks*. 42. 139-154. 10.28927/SR.422139.
- Ansori, A.L. 2020. Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Berdasarkan Data *In situ Test* Menggunakan Metode Probabilitas. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Artati, H.K., Pawirodikromo, W., dan Purwanto, E. 2020. Analisis Potensi Likuifaksi Pada Pasir Vulkanik Di Pantai Glagah Kulonprogo Berdasarkan Data N-SPT. *Jurnal Teknisia*. Volume XXV, No 2, pp. 108-120. Yogyakarta.
- Balamba, S., Lonteng, C.V.D., Monintja, S., dan Sarajar, A. N. 2013. Analisis Potensi Likuifaksi di PT. PLN (Persero) UIP KIT SULMAPA PLTU 2 Sulawesi Utara 2 x 25 MW Power Plan. *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 1 No. 11, Oktober 2013 (705-717).
- Rafferty, John P. *Soil Liquefaction (Online)*. *Encyclopedia Britannica*, 16 Nov. 2021, <https://www.britannica.com/science/soil-liquefaction>. Accessed 26 July 2022
- Cetin, K.O. et al. 2016. *SPT-Based Seismic Soil Liquefaction Triggering Assessment. Conference Paper*. 12th International Congress on Advances in Civil Engineering. Boğaziçi University.
- Cetin, Kemal & Ilgaç, Makbule. (2016). C.87 *SPT-based seismic soil liquefaction triggering assessment*.

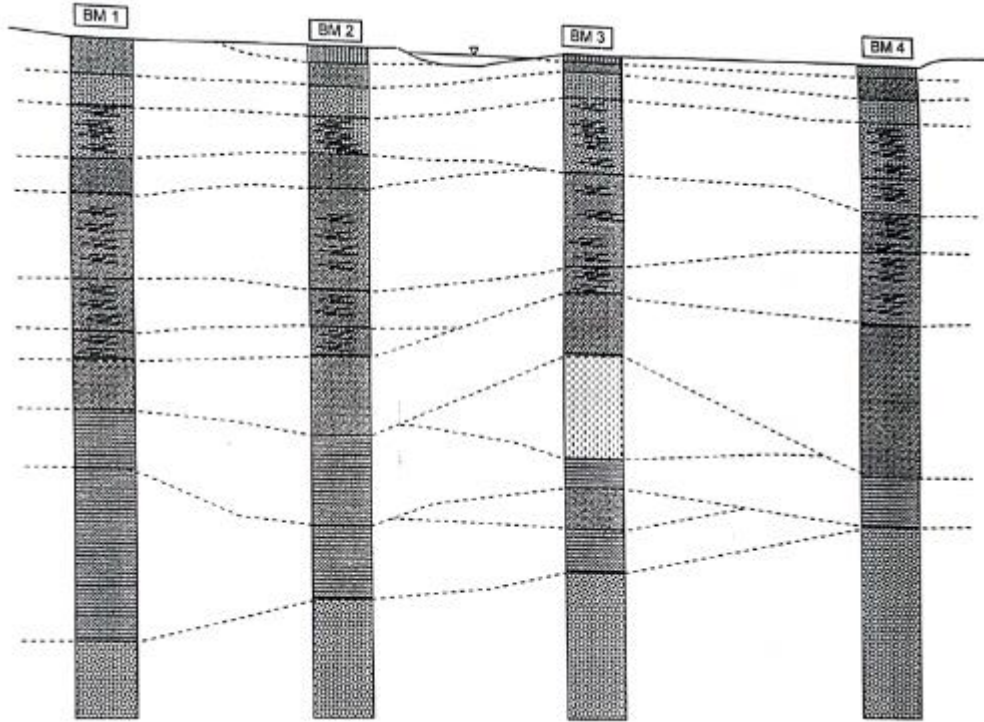
- Das, Braja M. 1992. *Principle of Soil Dynamic*. PWS KENT Publishing Company. United States of America
- Das, B.M., 1998. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Penerbit Erlangga. Jakarta
- Hardiyatmo, H.C. 2012. *Mekanika Tanah 1, Edisi Keenam*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hakam, A. 2020. *Analisis Praktis Potensi Likuifaksi*. Andalas Press. Padang.
- Hutalugung, M. dan Tarigan, S.D. 2019. Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa (Studi Kasus: Reklamasi Pelabuhan Kontainer Belawan Fase-2). *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil*. Vol. 2 No. 01, Maret 2019.
- Hwang, J.H. et al. 2021. *Soil Liquefaction Potential Evaluation – An Update of The HBF Method Focusing on Research and Practice in Taiwan*. *Engineering Geology*. 280 (2021), 105926.
- Hwang, J.H. et al. 2019. *On the Simplified Methods for Assessing Liquefaction Potential of Soils: Twenty Years Development of HBF Method*. ICEEDM 2019. Geotechnical Division Head, NCREE. National Central University, Taiwan.
- Idriss, I.M., dan Boulanger, R.W., 2008, *Soil Liquefaction During Earthquakes*, Earthquake Engineering Research Institute (EERI), USA.
- Ikhsan, R. 2011. Analisis Potensi Likuifaksi Dari Data CPT dan SPT Dengan Studi Kasus PLTU Ende Nusa Tenggara Timur. Skripsi. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Irsyam, H. 2017. Pemuktahiran Sumber dan Peta Gempa Indonesia 2017. BNPB. Agustus. Indonesia.

- Jalil, A.M. et al. 2019. *A Study the Liquefaction Potential in Banda Aceh City After The 2004 Sumatera Earthquake. International Journal of Geomate*. January 2020. Vol. 18, Issue 65, pp. 147-155.
- Laboratorium Mekanika Tanah FTSP UII. (2016). Laporan Penyelidikan Tanah Proyek *Review Design Jembatan Kretek II Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta*. Sleman
- Mase, L. Z. 2018. Studi Keandalan Metode Analisis Likuifaksi Menggunakan SPT Akibat Gempa 8,6 Mw, 12 September 2007 di Area Pesisir Kota Bengkulu. *Jurnal Teknik Sipil*. Volume 25, No. 1, pp. 53-60. Bandung.
- Mina, E., Kusuma, R.I., dan Muzaky, K.A. 2020. Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Penyelidikan Tanah Standart Penetration Test (SPT) (Studi Kasus di Cross taxiway Timur Bandara Soekarno – Hatta Tangerang. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*. Vol. 16 No. 01(2020) 128-135.
- Pawirodikromo, W. 2012. *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Pejabat Pengelola Informasi dan Dokumentasi (PPID) Kabupaten Bantul. 2020. *Data Umum*. Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Prayitno, D.P dan H.K. Artati. 2021. Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Distribusi Ukuran Butir Tanah dan Data Cone Penetration Test (CPT). *Media Komunikasi Teknik Sipil*, [Online] Volume 27 (2), pp. 242-249.

- Putra, A.T.J. 2013. Pemetaan Kerentanan Daerah Potensi Likuifaksi, Akibat Gempa Bumi Tektonik Studi Kasus Daerah Desa Panjangrejo dan Sekitarnya, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Naskah Publikasi*. Universitas Diponegoro.
- Rahman, M.A., Fathani, T.F., Rifa'I, A., dan Hidayat, M.S. 2020. Analisis Tingkat Potensi Likuifaksi di Kawasan Underpass Yogyakarta International Airport. *Jurnal Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas*. Vol. 16 No. 2, Juli 2020. Yogyakarta.
- Salim, M. A. dan Siswanto, A. B. 2018. *Rekayasa Gempa*. K-Media. Yogyakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2000. *Tata Cara Pengklasifikasian Tanah dengan Cara Unifikasi Tanah*. SNI 6327. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- Standar Nasional Indonesia. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. SNI 1726. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- Sladen, J. & D'Hollander, R. & Krahn, J. 2011. *The liquefaction of sands, a collapse surface approach*. Canadian Geotechnical Journal. 22. 564-578. 10.1139/t85-076.
- Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F., dan Chung, R.M., 1985, *Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluation*, Journal of Geotechnical Engineering Div, ASCE, Vol.111, No.12, 1425-1445.
- Tsuchida, H. 1970. *Prediction and Countermeasure Against the Liquefaction in Sand Deposit*. Seminar in the Port and Harbor Research Institute, 3.1-3.33.

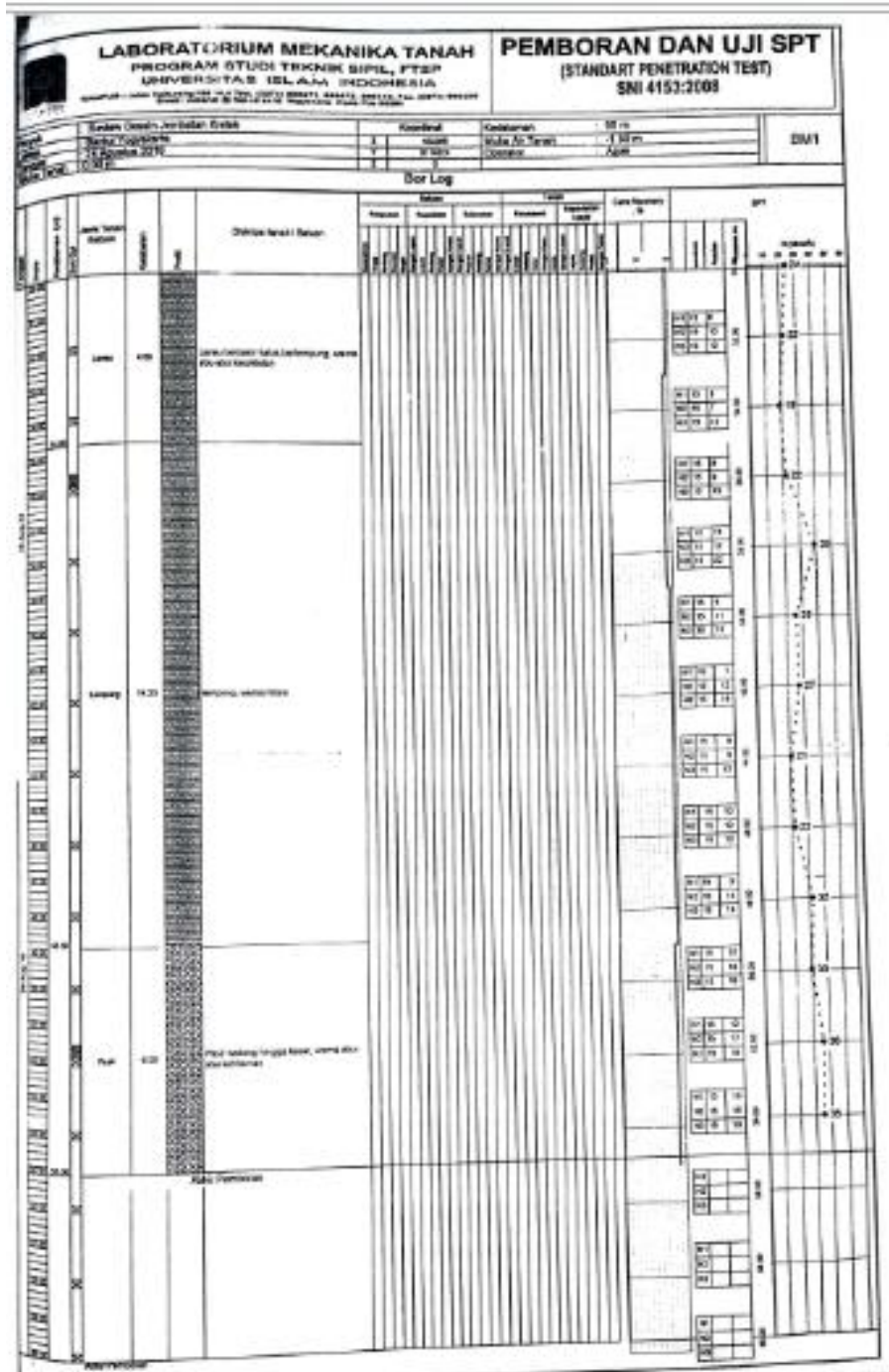
LAMPIRAN



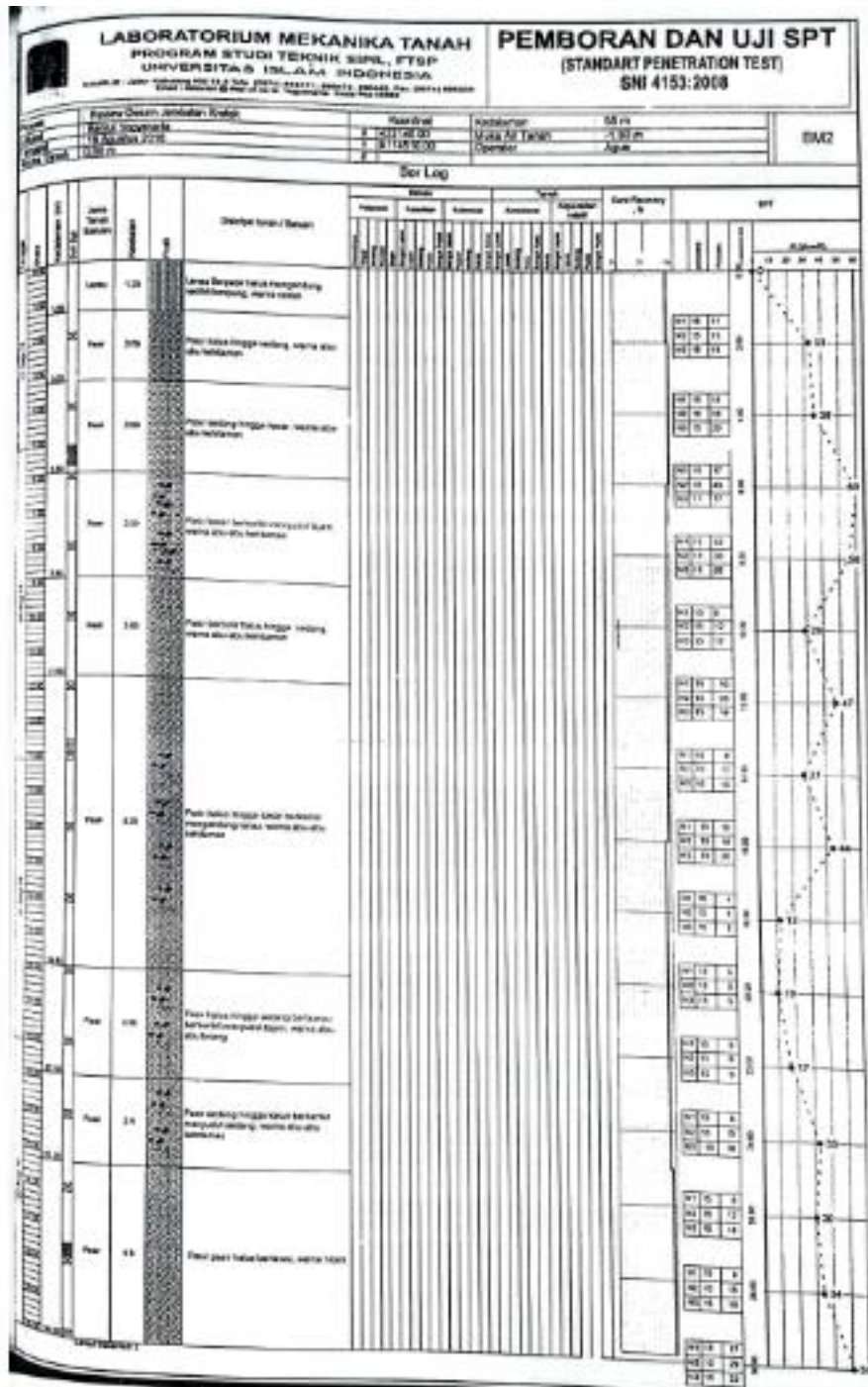
Lampiran 1 Stratigrafi Litologi Hasil Pemboran**Gambar L-1. 1 Stratigrafi Litologi Hasil Pemboran**

الجمهورية الإسلامية البوسنية
البيانات الجيولوجية

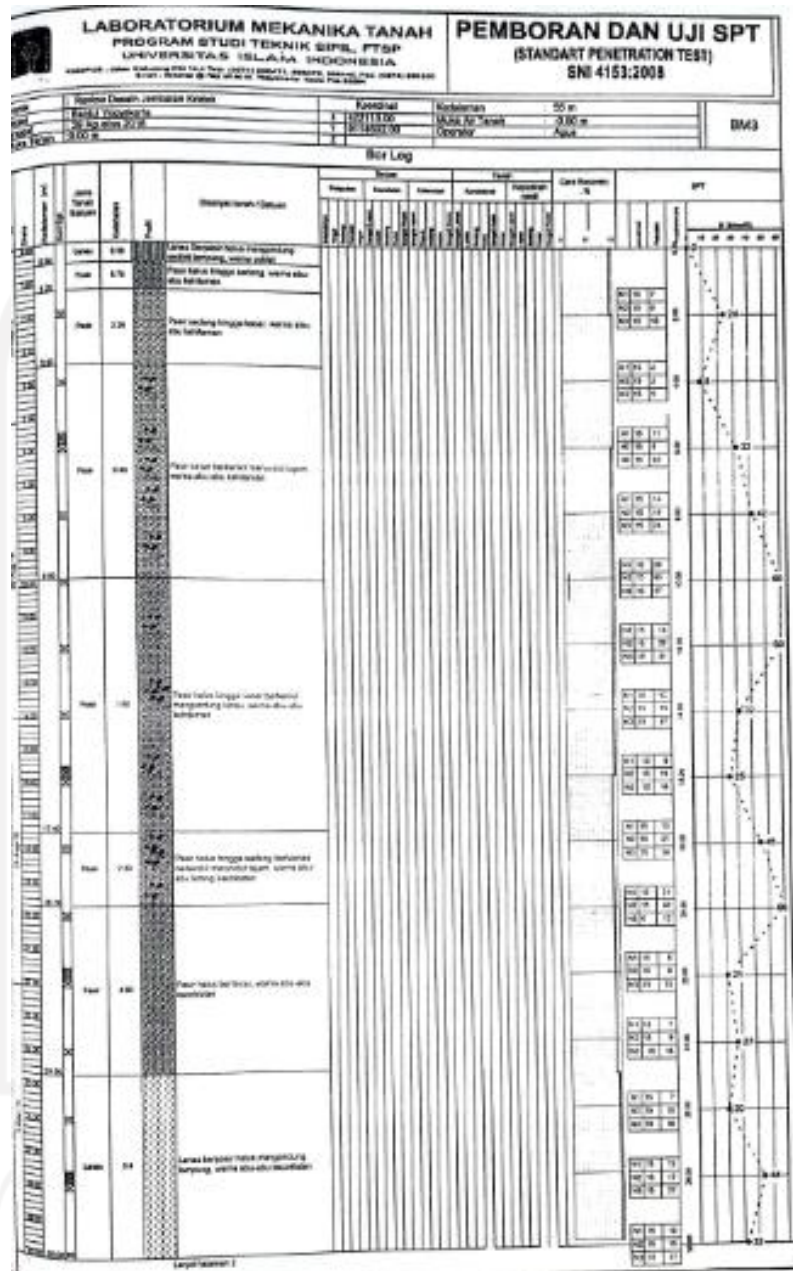
Lanjutan Tabel L-2.1 Pemboran dan Uji SPT Titik BM-K1



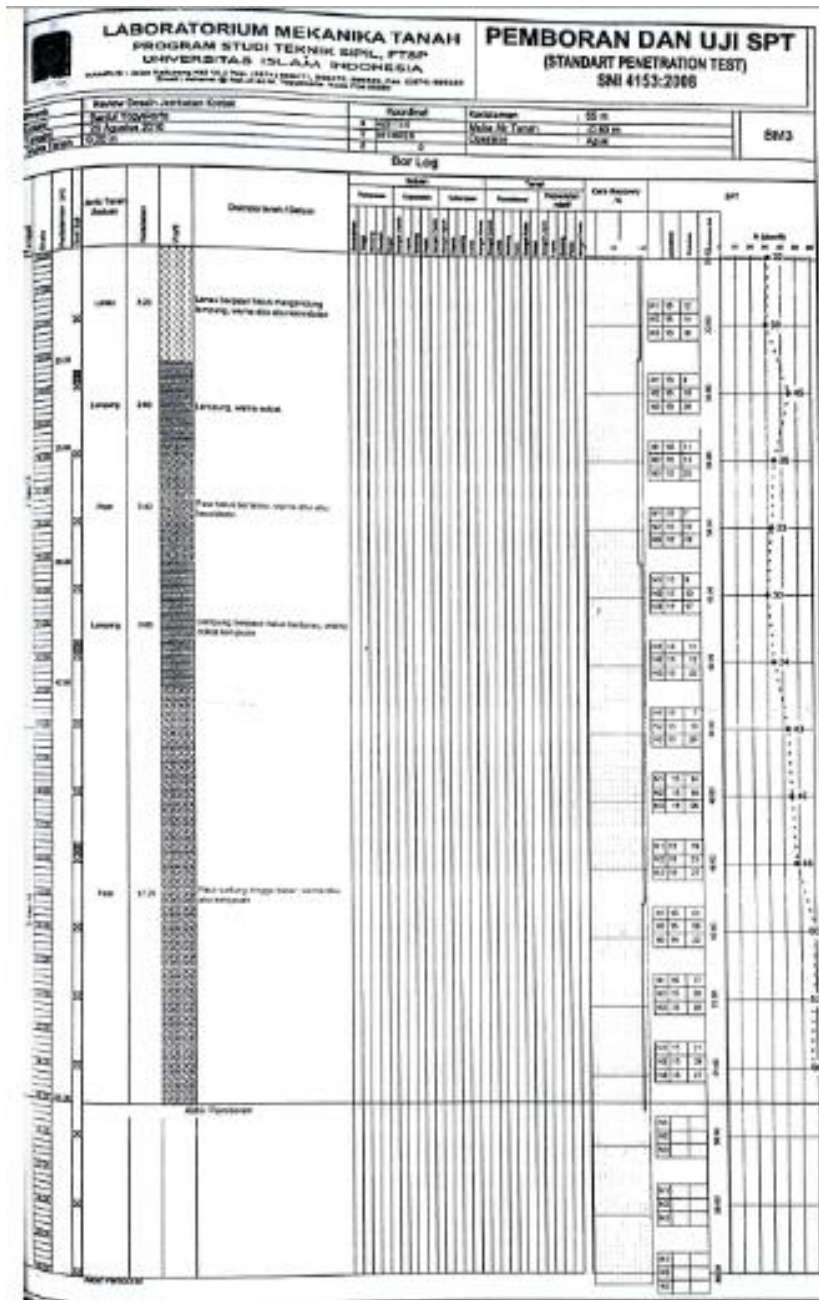
Tabel L-2. 2 Pemboran dan Uji SPT Titik BM-K2

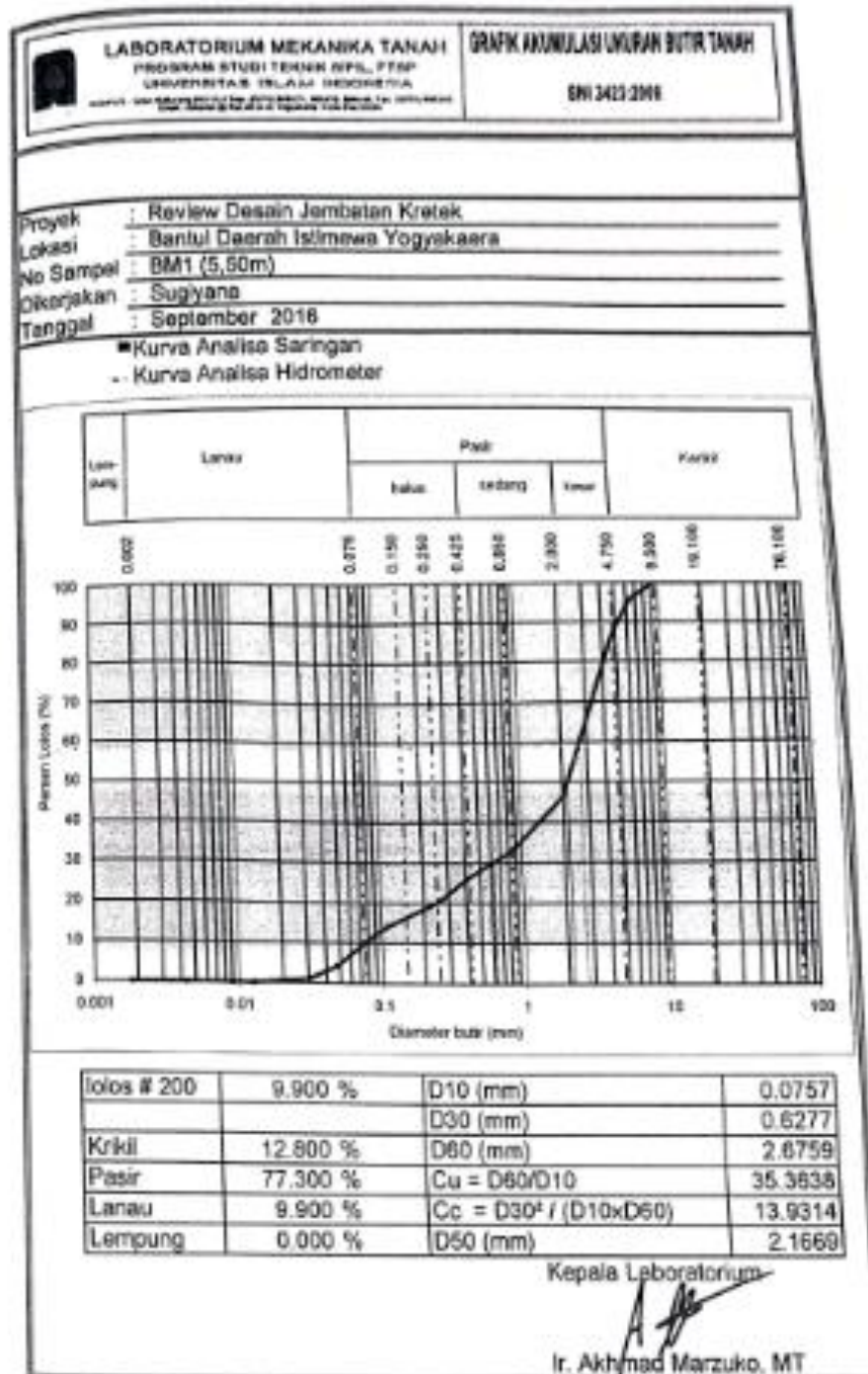


Tabel L-2. 3 Pemboran dan Uji SPT Titik BM-K3

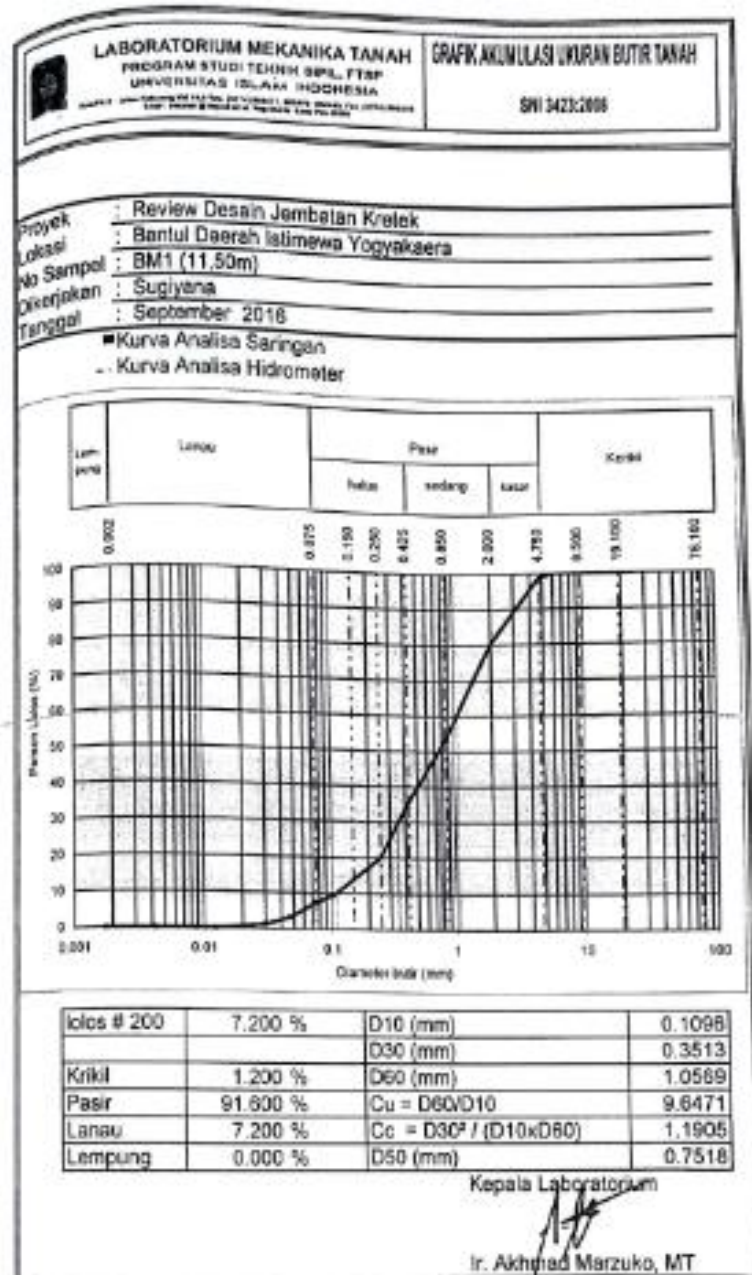


Lanjutan Pemboran dan Uji SPT Titik BM-K3

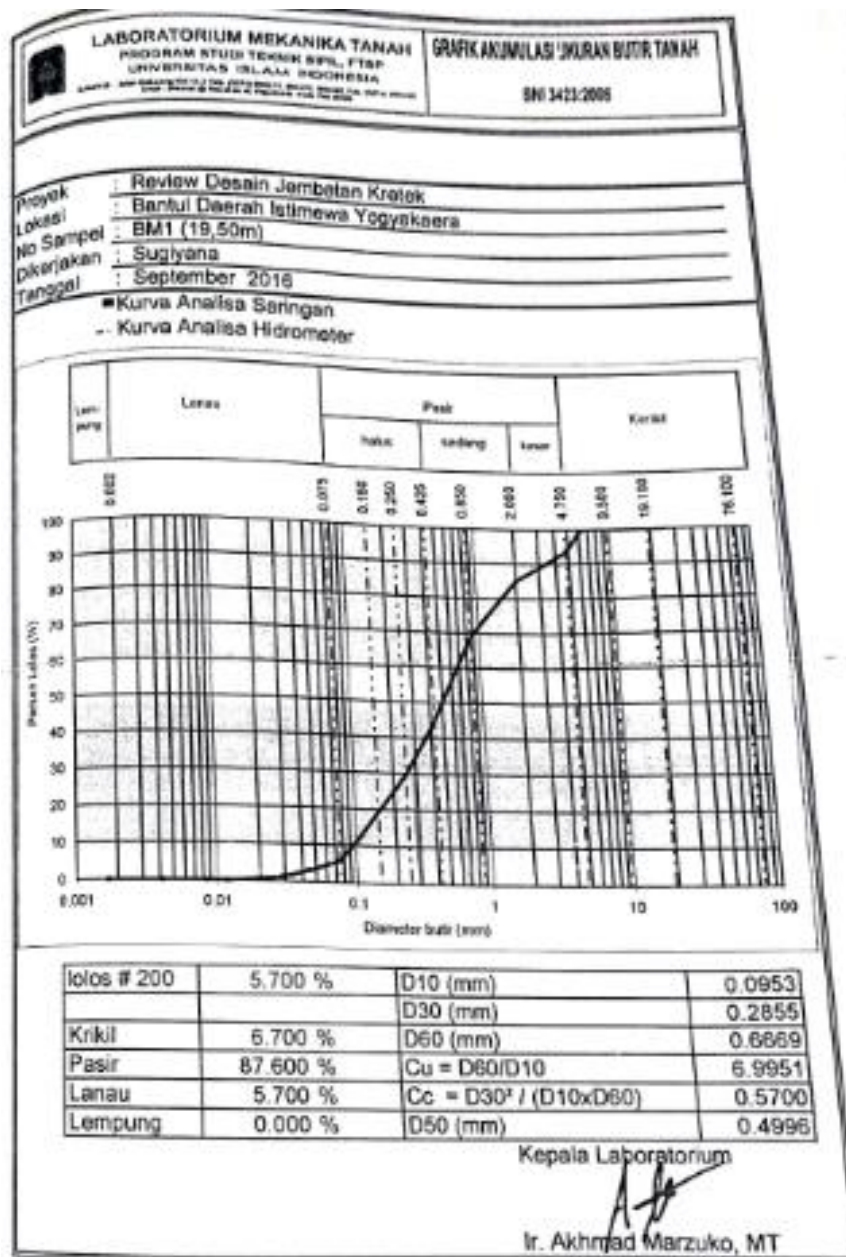




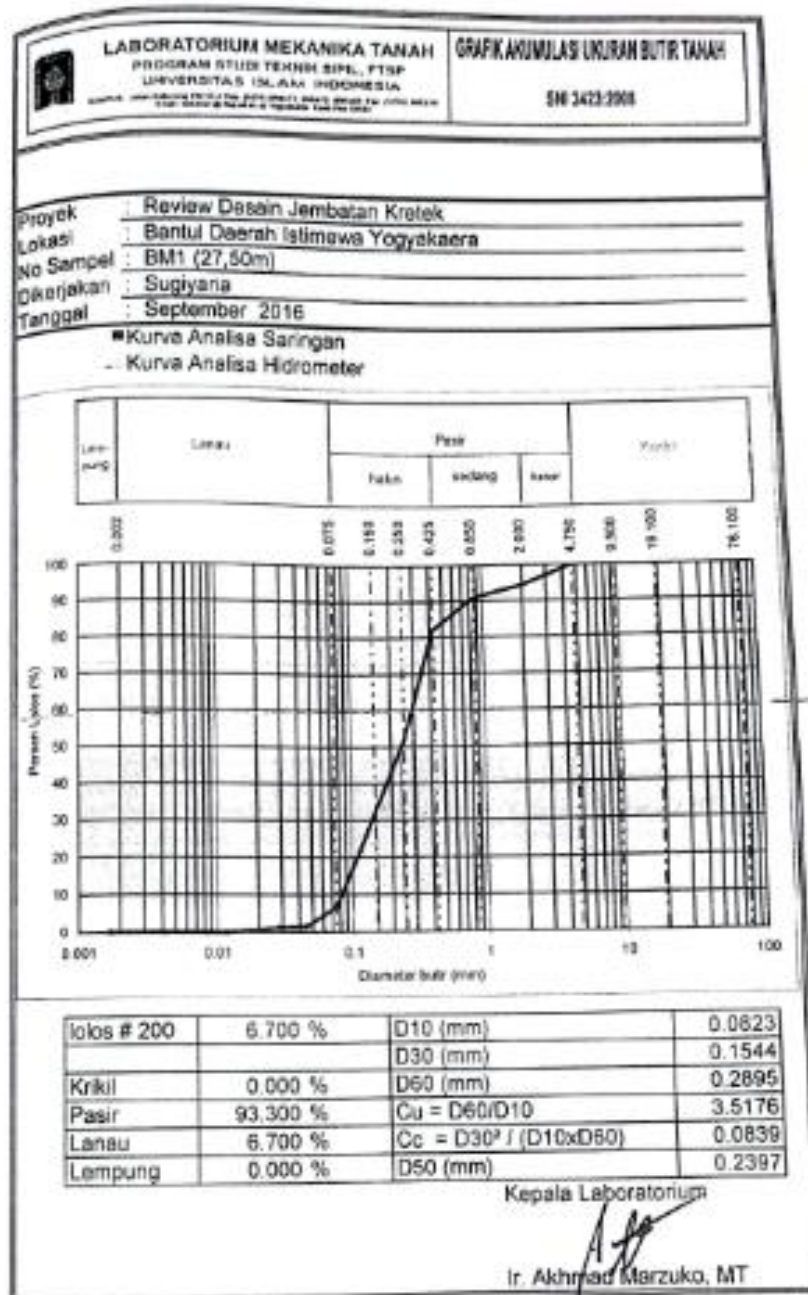
Gambar L-2. 1 Grafik Akumulasi Ukuran Butir Tanah



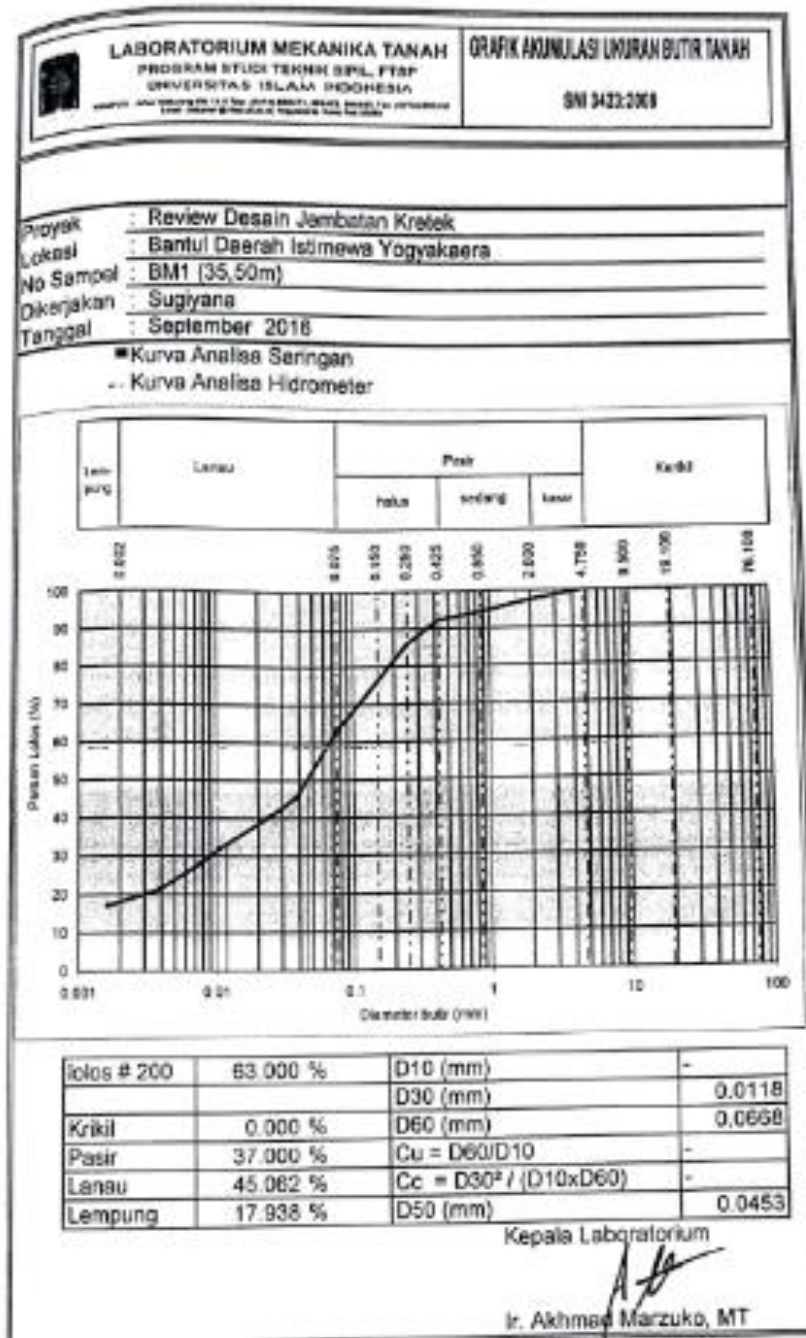
Lanjutan Gambar L-2.1 Grafik Akumulasi Ukuran Butir Tanah



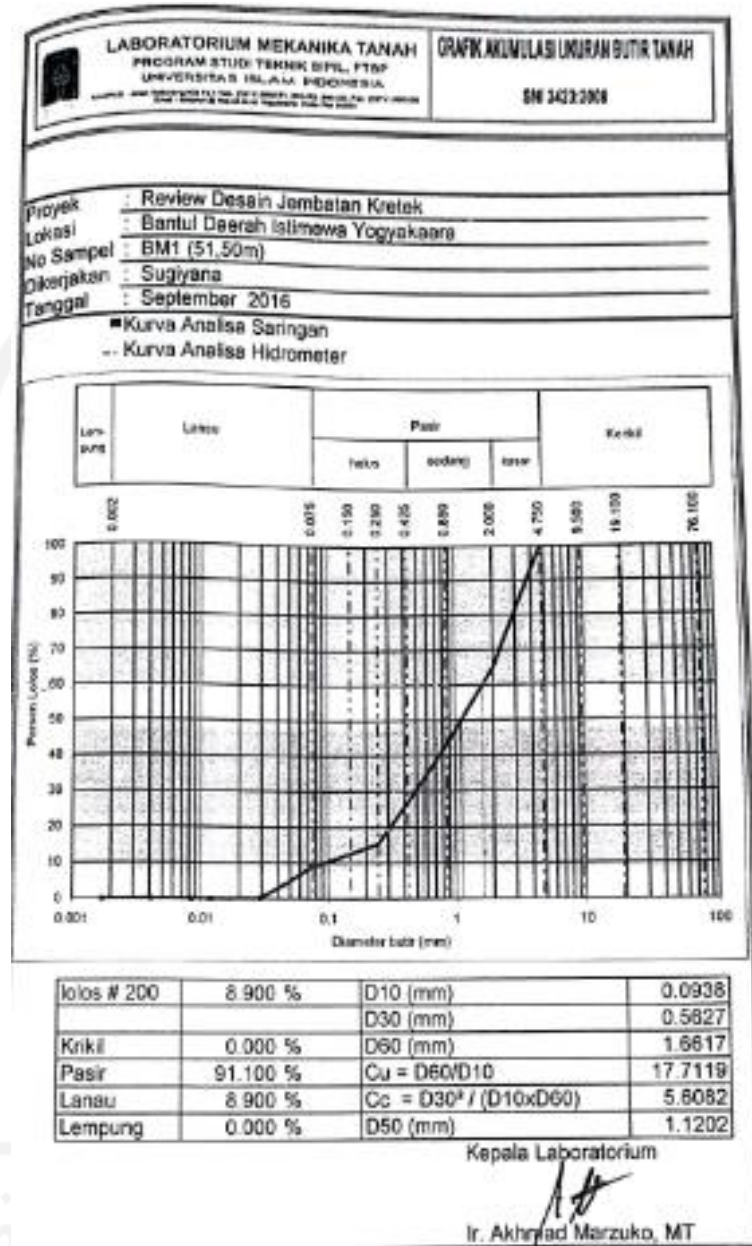
Lanjutan Gambar L-2.1 Grafik Akumulasi Ukuran Butir Tanah



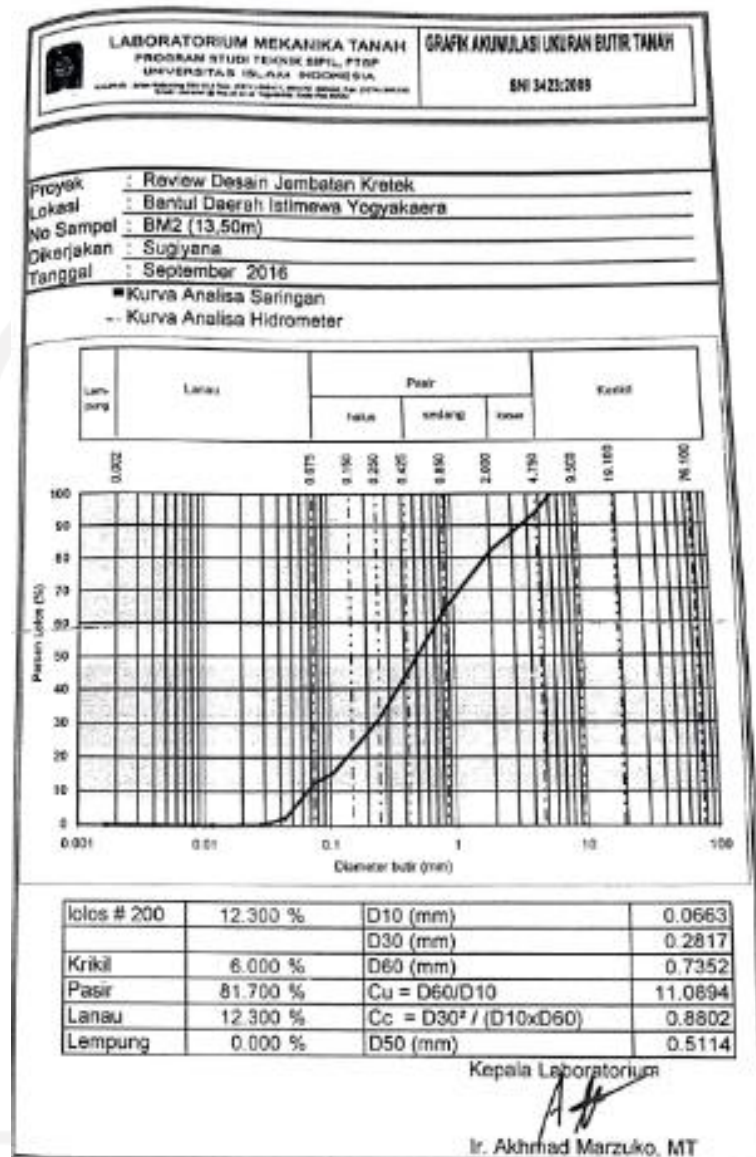
Lanjutan Gambar L-2.1 Grafik Akumulasi Ukuran Butir Tanah



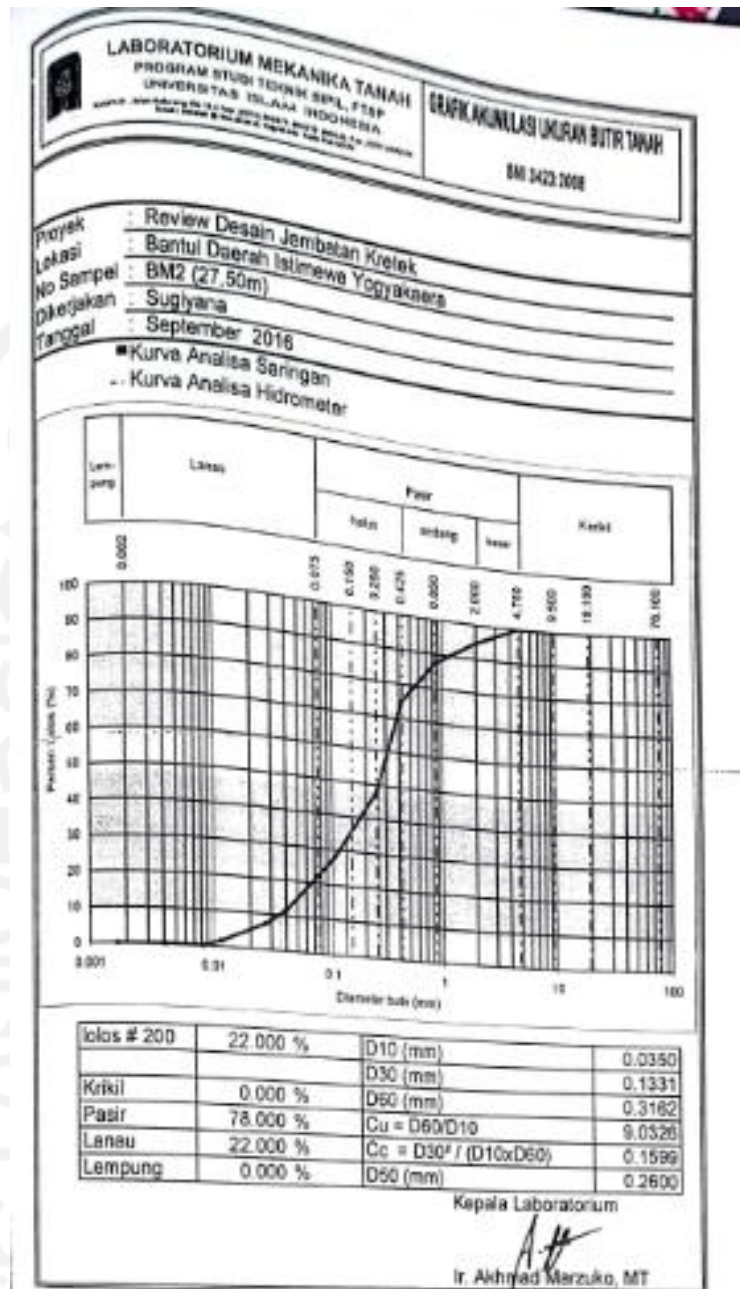
Lanjutan Gambar L-2.1 Grafik Akumulasi Ukuran Butir Tanah



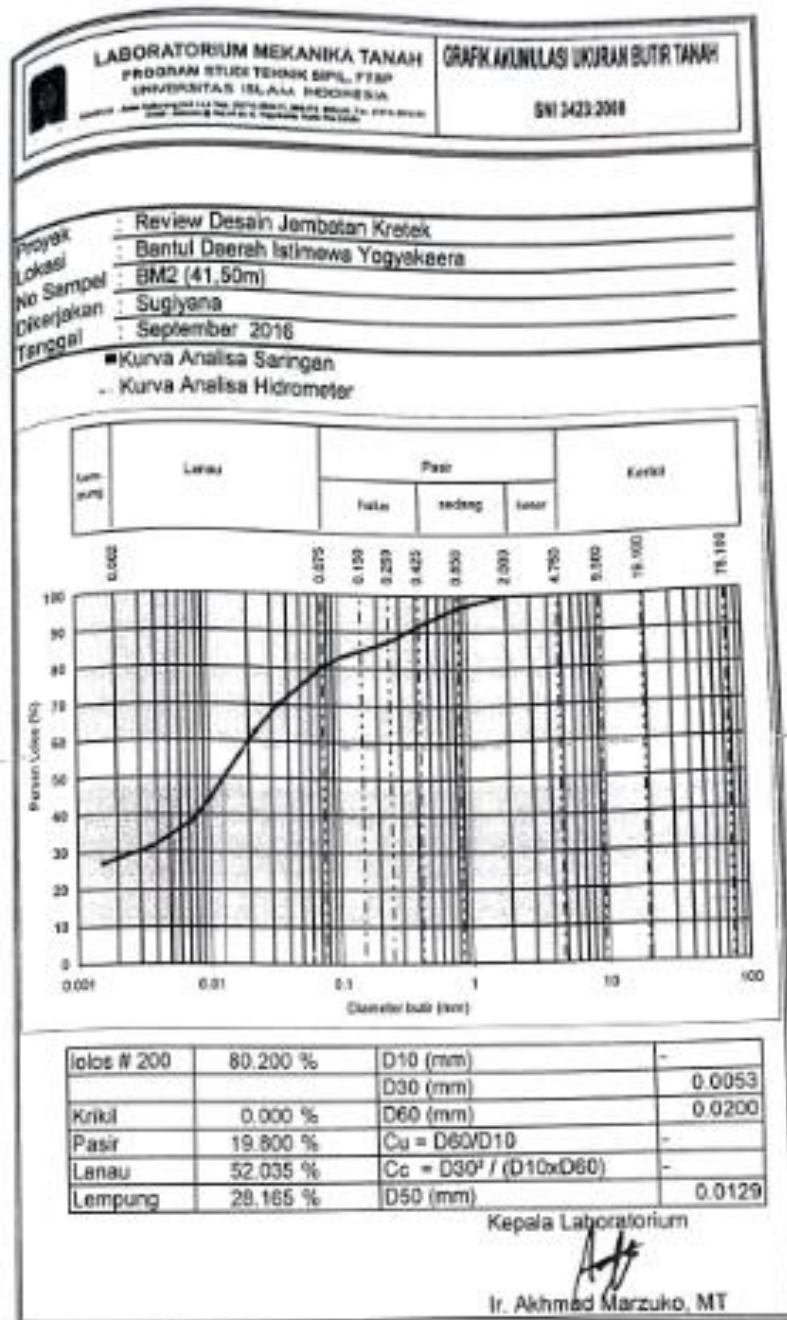
Lanjutan Gambar L-2.1 Grafik Akumulasi Ukuran Butir Tanah



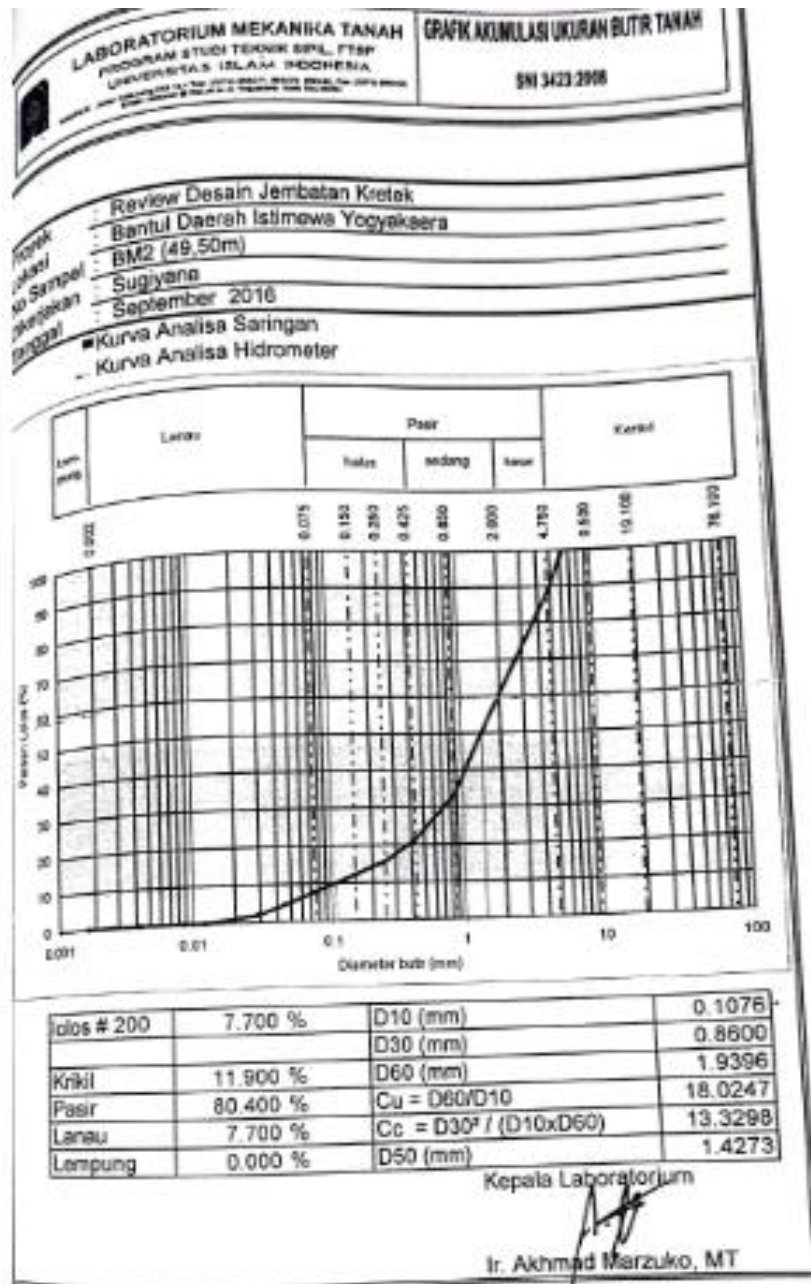
Lanjutan Gambar L-2.1 Grafik Akumulasi Ukuran Butir Tanah



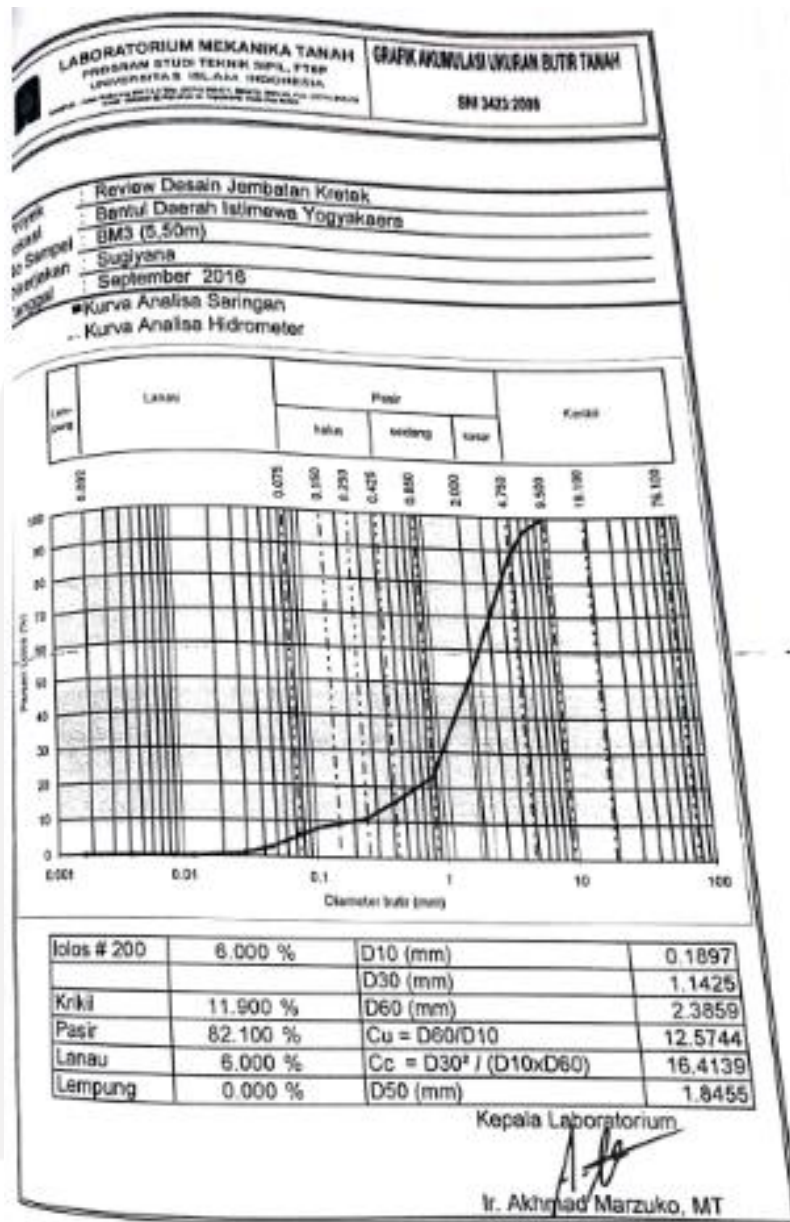
Lanjutan Gambar L-2.1 Grafik Akumulasi Ukuran Butir Tanah



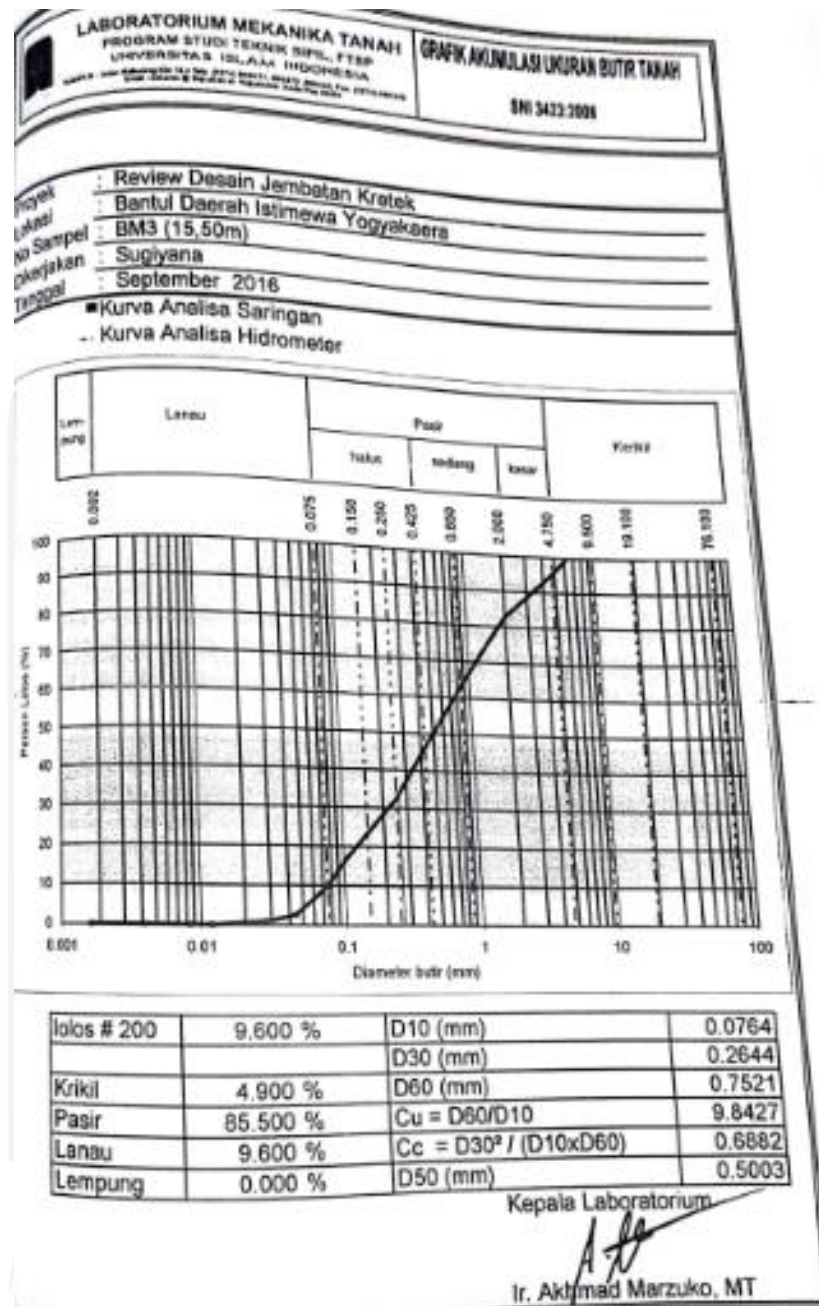
Lanjutan Gambar L-2.1 Grafik Akumulasi Ukuran Butir Tanah



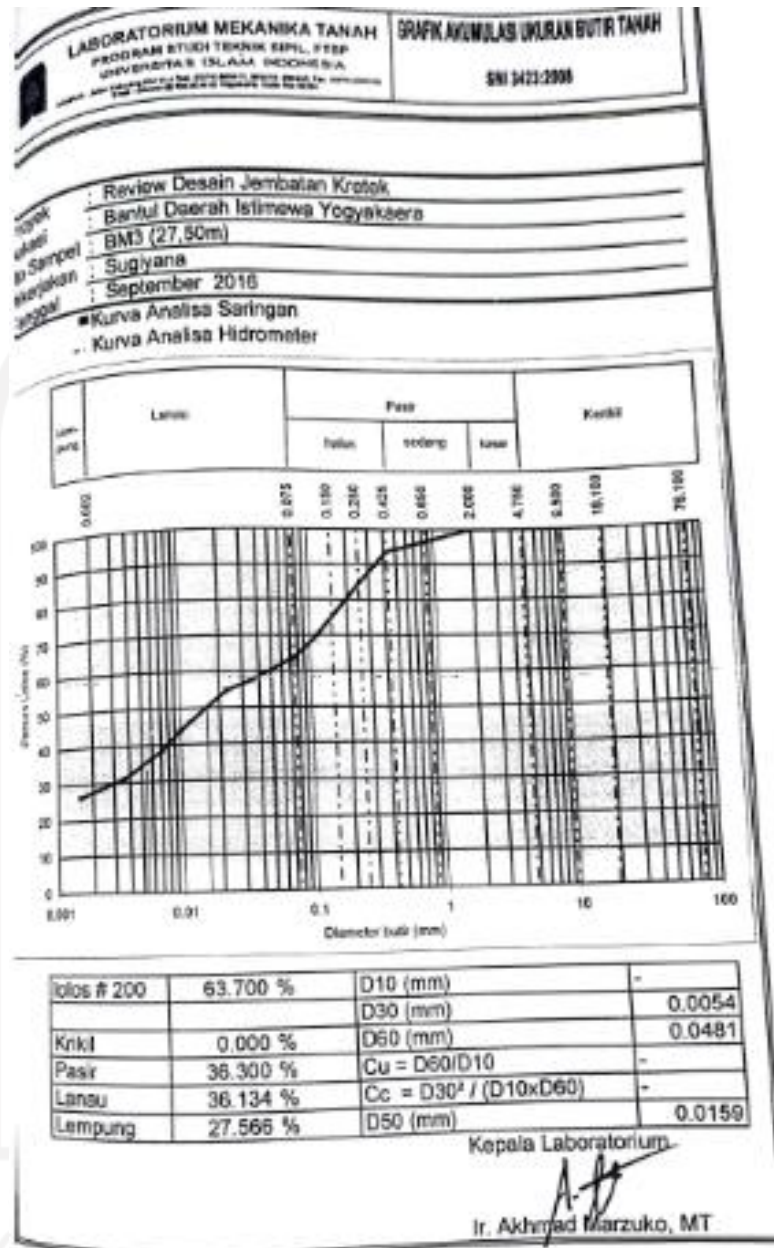
Lanjutan Gambar L-2.1 Grafik Akumulasi Ukuran Butir Tanah



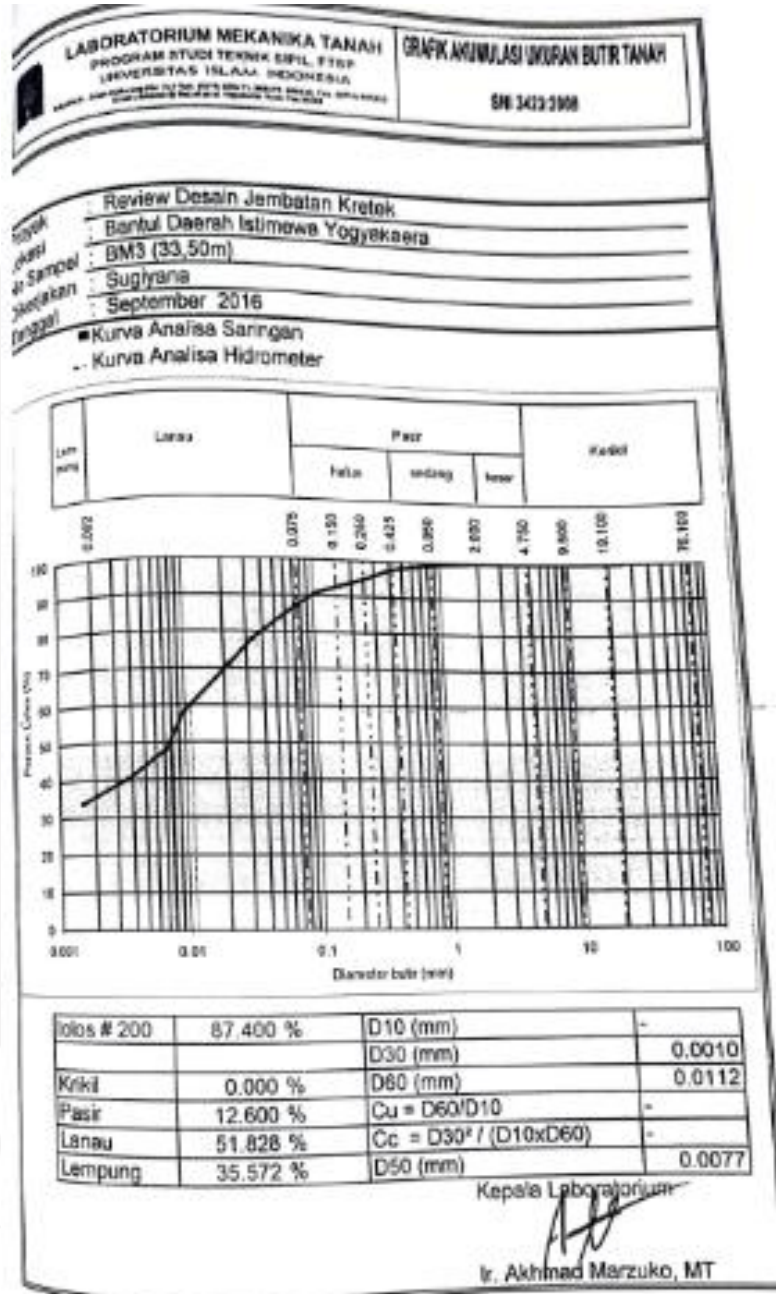
Lanjutan Gambar L-2.1 Grafik Akumulasi Ukuran Butir Tanah



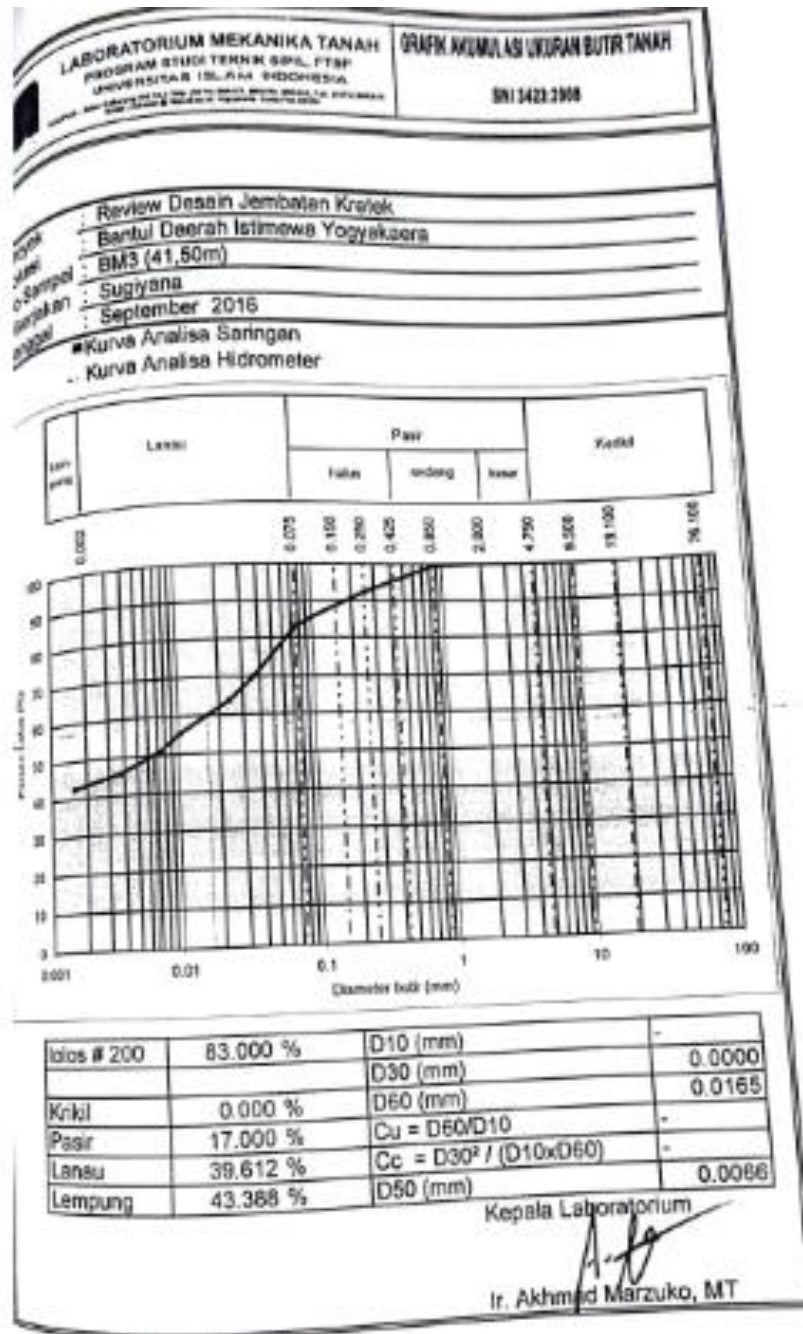
Lanjutan Gambar L-2.1 Grafik Akumulasi Ukuran Butir Tanah



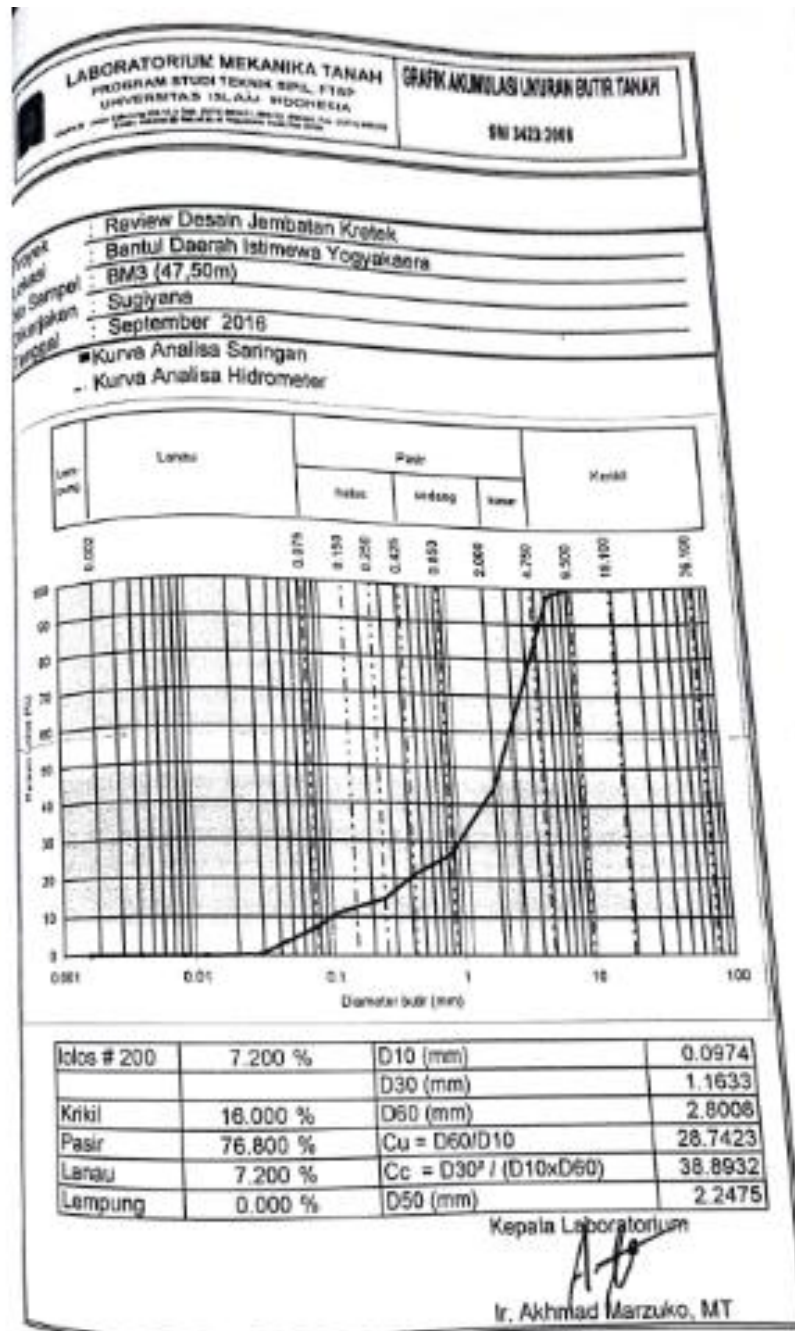
Lanjutan Gambar L-2.1 Grafik Akumulasi Ukuran Butir Tanah



Lanjutan Gambar L-2.1 Grafik Akumulasi Ukuran Butir Tanah



Lanjutan Gambar L-2.1 Grafik Akumulasi Ukuran Butir Tanah



Lanjutan Gambar L-2.1 Grafik Akumulasi Ukuran Butir Tanah

Tabel L-2. 4 Hasil Pengujian Bor Mesin Titik BM-K1

Kedalaman (m)	Jenis Tanah/ Batuan
0 - 2.80	Pasir halus hingga sedang, warna abu-abu kehitaman, kepadatan sedang hingga padat.
2.8 - 5.40	Pasir kasar, warna abu-abu kehitaman, kepadatan padat hingga keras.
5.40 - 9.80	Pasir kasar berkerikil agak menyudut, warna abu-abu kehitaman, kepadatan padat hingga keras.
10.80 - 12.60	Pasir halus hingga sedang, warna abu-abu kehitaman, kepadatan sedang,
12.60 - 19.40	Pasir halus hingga kasar berkerikil mengandung lanau, warna abu-abu kehitaman, kepadatan sedang hingga keras
19.40 - 25.80	Pasir sedang hingga kasar berkerikil menyudut sedang, warna abu-abu kehitaman, kepadatan padat.
25.80 - 30.00	Pasir pasir halus berlanau, warna hitam, kepadatan sangat padat
30.00 - 34.60	Lanau berpasir halus,berlempung, warna abu-abu kecoklatan, konsistensi sangat kaku
34.60 - 48.80	lempung, warna hitam, konsistensi sangat kaku
48.80 - 55.45	Pasir sedang hingga kasar, warna abu-abu kehitaman, kepadatan keras

Tabel L-2. 5 Hasil Pengujian Bor Mesin Titik BM-K2

Kedalaman (m)	Jenis Tanah/ Batuan
0 - 1.20	Lanau Berpasir halus mengandung sedikit lempung, warna coklat, konsistensi sedang
1.20 - 3.20	Pasir halus hingga sedang, warna abu-abu kehitaman, kepadatan sedang hingga padat.
2.8 - 5.80	Pasir sedang hingga kasar, warna abu-abu kehitaman, kepadatan padat.
5.80 - 7.80	Pasir kasar berkerikil menyudut tajam, warna abu-abu kehitaman, kepadatan padat hingga keras.
7.80 - 11.60	Pasir berbutir halus hingga sedang, warna abu-abu kehitaman, kepadatan sedang,
11.60 - 19.80	Pasir halus hingga kasar berkerikil mengandung lanau, warna abu-abu kehitaman, kepadatan sedang
19.40 - 22.80	Pasir sedang hingga kasar berkerikil menyudut sedang, warna abu-abu kehitaman, kepadatan padat.
22.80 - 25.20	Pasir sedang hingga kasar berkerikil menyudut sedang, warna abu-abu kehitaman, kepadatan sedang
25.20 - 31.60	Pasir pasir halus berlanau, warna hitam, kepadatan sedang
31.60 - 39.20	Lanau berpasir halus,berlempung, warna abu-abu kecoklatan, konsistensi sangat kaku
39.20 - 45.20	lempung, warna hitam, konsistensi sangat kaku
45.20 - 55.45	Pasir sedang hingga kasar, warna abu-abu kehitaman, kepadatan keras

Tabel L-2. 6 Hasil Pengujian Bor Mesin Titik BM-K3

Kedalaman (m)	Jenis Tanah/ Batuan
0 - 0.50	Lanau Berpasir halus mengandung sedikit lempung, warna coklat, konsistensi sedang
0.50 - 1.20	Pasir halus hingga sedang, warna abu-abu kehitaman, kepadatan sedang hingga padat.
1.20 - 3.40	Pasir sedang hingga kasar, warna abu-abu kehitaman, kepadatan padat.
3.40 - 9.80	Pasir kasar berkerikil menyudut tajam, warna abu-abu kehitaman, kepadatan padat hingga keras.
9.80 - 17.40	Pasir berbutir halus hingga sedang, warna abu-abu kehitaman, kepadatan sedang.
17.40 - 19.70	Pasir halus hingga kasar berkerikil mengandung lanau, warna abu-abu kehitaman, kepadatan sedang
19.70 - 24.60	Pasir halus berlanau, warna abu-abu kecoklatan, kepadatan padat.
24.60 - 33.20	Lanau berpasir halus mengandung lempung, warna abu-abu kecoklatan, konsistensi sedang
33.20 - 35.80	Lempung, warna coklat, konsistensi sangat kaku
35.80 - 39.20	Pasir halus berlanau, warna abu-abu kecoklatan, kepadatan padat
39.20 - 42.80	Lempung berpasir halus berlanau, warna coklat kehijauan, konsistensi sangat kaku
42.80 - 55.45	Pasir sedang hingga kasar, warna abu-abu kehitaman, kepadatan keras

Tabel L-2. 7 Data N-SPT

No	Kedalaman (m)	Titik BM 1		Titik BM 2		Titik BM 3		Titik BM 4	
		Penetrasi	Nilai N _{SPT}	Penetrasi	Nilai N _{SPT}	Penetrasi	Nilai N _{SPT}	Penetrasi	Nilai N _{SPT}
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	30	43	30	33	30	24	30	30
3	4	30	42	30	36	30	8	30	26
4	6	30	59	26	60	30	32	30	28
5	8	29	60	30	56	30	42	30	58
6	10	30	48	30	29	25	60	30	39
7	12	30	18	30	47	30	60	30	39
8	14	19	60	30	27	30	32	30	21
9	16	30	54	30	44	30	25	30	33
10	18	30	20	30	12	30	45	24	60
11	20	30	18	30	10	21	60	30	27
12	22	30	21	30	17	30	21	30	44
13	24	30	39	30	33	30	27	30	51
14	26	30	35	30	30	30	20	30	55
15	28	30	24	30	34	30	44	18	60
16	30	30	24	30	51	30	32	30	46
17	32	30	22	30	31	30	30	30	41
18	34	30	19	30	46	30	45	30	26
19	36	30	22	24	60	30	35	30	25
20	38	30	39	30	40	30	33	30	30
21	40	30	26	30	38	30	30	30	42
22	42	30	27	30	39	30	34	30	53
23	44	30	21	30	60	30	43	30	57
24	46	30	22	30	53	30	45	30	57
25	48	30	32	30	60	30	48	28	60
26	50	30	30	30	60	29	60	30	59
27	52	30	36	30	48	30	57	30	54
28	54	30	35	30	55	30	56	30	55

Tabel L-2. 8 Hasil Pengujian Laboratorium

No	No Titik/ Lokasi	Properties tanah							Engineering Properties			
		Kadar Air	Berat vol. basah	Berat vol. kering	Berat jenis	Sr	n	e	Geser langsung		Triaksial UU	
									Kohesi	Sudut Geser	Kohesi	Sudut Geser
w, %	γ_s , gr/cm ³	γ_d , gr/cm ³	Gs	%	%	0.00	ϕ°	c_u , (kg/cm ²)	ϕ^*	c_u , (kg/cm ²)	ϕ^*	
1	: BM1 (5,50m)	11.77	1.820	1.628	2.642	49.95	38.37	0.62	44.04	0.08		
2	: BM1 (11,50m)	20.77	1.746	1.446	2.629	66.72	45.00	0.82	33.34	0.14		
3	: BM1 (19,50m)	17.48	1.774	1.510	2.668	60.81	43.40	0.77	34.16	0.08		
4	: BM1 (27,50m)	21.64	1.801	1.480	2.667	71.32	44.92	0.82	31.02	0.13		
5	: BM1 (35,50m)	30.12	1.661	1.276	2.615	75.08	51.19	1.05			32.07	0.28
6	: BM1 (51,50m)	23.71	1.728	1.398	2.674	69.45	47.72	0.91	40.31	0.15		
7	: BM2 (5,50m)	16.60	1.783	1.529	2.674	59.31	42.80	0.75	42.11	0.09		
8	: BM2 (13,50m)	18.73	1.807	1.522	2.731	64.42	44.26	0.79	33.34	0.06		
9	: BM2 (27,50m)	25.93	1.807	1.435	2.695	79.68	46.76	0.88	34.38	0.22		
10	: BM2 (35,50m)	27.75	1.640	1.284	2.548	71.81	49.61	0.98			35.28	0.27
11	: BM2 (41,50m)	37.69	1.666	1.210	2.654	63.85	54.40	1.19			32.77	0.42
12	: BM2 (49,50m)	23.67	1.820	1.471	2.627	78.15	44.00	0.79	41.39	0.12		
13	: BM3 (5,50m)	18.37	1.825	1.542	2.674	66.90	42.34	0.73	37.26	0.14		

No	No Titik/ Lokasi	Properties tanah							Engineering Properties			
		Kadar Air	Berat vol. basah	Berat vol. kering	Berat jenis	Sr	n	e	Geser langsung		Triaksial UU	
									Kohesi	Sudut Geser	Kohesi	Sudut Geser
w, %	γ_s , gr/cm ³	γ_d , gr/cm ³	Gs	%	%	0.00	ϕ°	c_u , (kg/cm ²)	ϕ^*	c_u , (kg/cm ²)	ϕ^*	
14	: BM3 (15,50m)	20.58	1.794	1.479	2.688	67.70	44.96	0.82	34.27	0.16		
15	: BM3 (21,50m)	15.67	1.680	1.453	2.653	50.31	45.24	0.63	31.81	0.18		
16	: BM3 (27,50m)	23.37	1.658	1.344	2.615	64.56	48.62	0.95			33.38	0.60
17	: BM3 (33,50m)	27.77	1.686	1.319	2.598	74.42	49.22	0.97			30.93	0.37
18	: BM3 (41,50m)	26.18	1.712	1.357	2.547	76.06	46.72	0.88			28.10	0.50
19	: BM3 (47,50m)	16.18	1.712	1.474	2.696	52.62	45.32	0.63	35.58	0.13		
20	: BM4 (5,50m)	18.93	1.766	1.485	2.696	62.59	44.92	0.82	34.89	0.12		
21	: BM4 (13,50m)	18.27	1.804	1.525	2.703	63.94	43.57	0.77	32.73	0.13		
22	: BM4 (27,50m)	17.50	1.772	1.508	2.726	59.06	44.68	0.81	41.51	0.18		
23	: BM4 (35,50m)	31.53	1.683	1.279	2.585	79.87	50.51	1.02	37.51	0.41	31.13	0.71
24	: BM4 (47,50m)	19.75	1.754	1.465	2.694	63.40	45.64	0.84	41.51	0.18		

الجامعة الإسلامية
الاسلامية
الاسلامية