

**ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI AKIBAT GEMPA BUMI
MENGUNAKAN DATA CPT (*CONE PENETRATION TEST*)
DI KABUPATEN TULUNGAGUNG**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**FIRDA ZETTYARA
NIM. 145060100111028**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI AKIBAT GEMPA BUMI MENGUNAKAN DATA CPT (*CONE PENETRATION TEST*) DI KABUPATEN TULUNGAGUNG

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



FIRDA ZETTYARA
NIM. 145060100111028

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 3 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Harimurti, MT
NIP. 19600926 198802 1 001

Dr. Eng Yulvi Zaika, MT
NIP. 19680707 199403 2 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac.)
NIP. 19810220 200604 1 002

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI:

ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI AKIBAT GEMPA BUMI MENGGUNAKAN
DATA CPT (*CONE PENETRATION TEST*) DI KABUPATEN TULUNGAGUNG

Nama Mahasiswa : Firda Zettyara

NIM : 145060100111028

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Geoteknik

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Dr. Ir. Harimurti, MT

Dosen Penguji II : Dr. Eng Yulvi Zaika, MT

Dosen Penguji III : Dr. Ir. As'ad Munawir, MT

Tanggal Ujian : 30 Mei 2018

SK Penguji : 1085/UN 10. F07/KP/2018



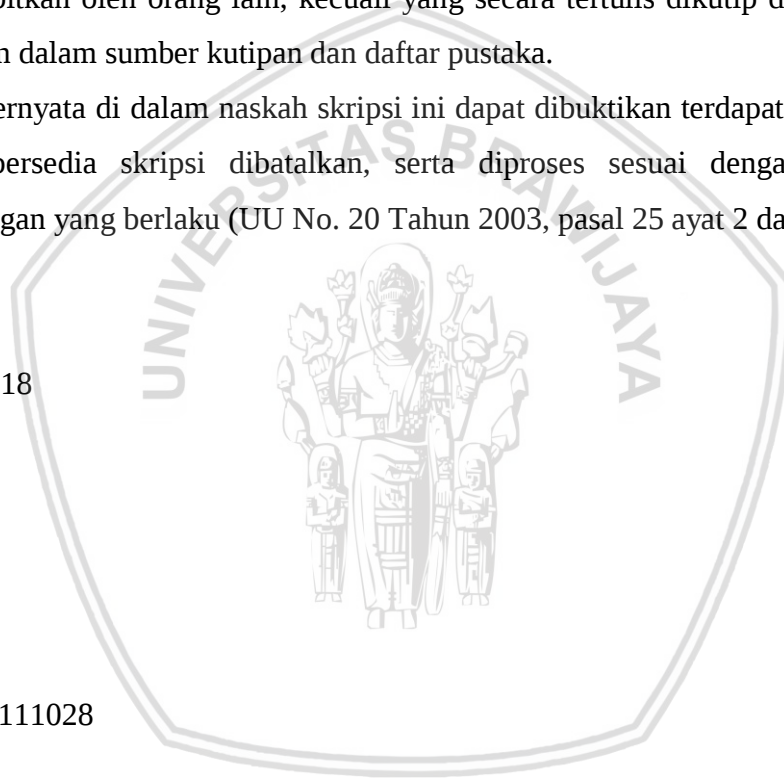
PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 3 Juli 2018
Mahasiswa,

Firda Zettyara
NIM. 145060100111028



RIWAYAT HIDUP

Firda Zettyara lahir di Malang, 7 Maret 1996. Anak dari Bapak Achmad Husaini dan Ibu Endang Prasetya Winarni. Lulus SD di SDN Dinoyo 2 Malang 2008. Setelah itu lulus SMP di SMPN 3 Malang tahun 2011. Selanjutnya lulus SMA di SMAN 8 Malang tahun 2014. Kemudian melanjutkan studi di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan lulus tahun 2018.

Selama menjalani studi di Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang penulis pernah mengikuti kompetisi DESIGN TENDER COMPETITION ITB CIVIL ENGINEERING EXPO 2018 di Bandung serta pernah menjadi Asisten Tugas Besar Sistem Bangunan Irigasi tahun 2017.

Malang, 3 Juli 2018

Penulis



*Kebahagiaan Awal Persembahan untuk
Bapak, Ibu, beserta Kakak yang Sangat Saya Cintai*



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala anugerah-Nya dan rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI AKIBAT GEMPA BUMI MENGGUNAKAN DATA CPT (CONE PENETRATION TEST) DI KABUPATEN TULUNGAGUNG”** dengan baik dan lancar. Skripsi ini merupakan persyaratan terakhir akademis yang telah ditetapkan untuk menyelesaikan tahap sarjana di **Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya**.

Tentunya saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar karena bantuan dari banyak pihak. Karena itu, saya ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. **Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST, MT** selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
2. **Dr. Eng Indradi Wijatmiko, ST, M.Eng (Prac.)** selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. **Ir. Pudyono, MT** selaku Dosen Pembimbing Akademik
4. **Dr. Ir. Harimurti, MT** selaku KKDK Geoteknik sekaligus Dosen Pembimbing 1 Skripsi.
5. **Dr. Eng Yulvi Zaika, MT** selaku Dosen Pembimbing 2 Skripsi.
6. **Keluarga Saya** yang selalu memberi semangat dan selalu mendukung.
7. **Teman-teman Teknik Sipil 2014 dan Sipil Cantik 2014** Universitas Brawijaya.
8. Dan semua pihak yang telah membantu kelancaran penulisan skripsi ini, yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Saya menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, saya berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, 3 Juli 2018

Firda Zettyara

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
RINGKASAN	viii
SUMARRY	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Tujuan Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Gempa Bumi.....	5
2.1.1 Gempa Tektonik	6
2.1.2 Besaran Kekuatan Gempa.....	6
2.1.3 Percepatan Gempa	7
2.2 Tinjauan tentang Validasi.....	11
2.3 Tanah	11
2.3.1 Komponen Tanah.....	12
2.3.2 Uji Sondir (<i>Cone Penetrometer Test</i>)	13
2.4 Likuifaksi	16
2.4.1 Syarat Likuifaksi.....	16
2.4.2 Proses Likuifaksi.....	19
2.4.3 Dampak Likuifaksi	21

2.4.4 Cara Penanggulangan Likuifaksi	22
2.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Likuifaksi.....	22
2.6 Parameter yang Mempengaruhi Likuifaksi	25
2.6.1 Tegangan Vertikal Total	26
2.6.2 Tegangan Vertikal Efektif	26
2.7 Metode untuk Mengetahui Zona Likuifaksi	27
2.7.1 Faktor Reduksi	27
2.7.2 <i>Cyclic Stress Ratio</i> (CSR).....	27
2.7.3 <i>Cyclic Resistant Ratio</i> (CSR).....	28
2.7.4 <i>Magnitude Scaling Factor</i> (MSF).....	30
2.7.5 Tinjauan Potensi Likuifaksi.....	30
BAB III METODE PENELITIAN	31
3.1 Metode Pengumpulan Data.....	31
3.1.1 Metode dan Lokasi Pengumpulan Data Gempa.....	31
3.1.2 Metode Pengambilan Data Tanah.....	31
3.2 Diagram Alir Penelitian.....	32
3.3 Variabel Penelitian.....	32
3.4 Analisis Data.....	33
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Validasi Perhitungan Potensi Likuifaksi GOR Haji Agus Salim dan Lapai, Padang.	35
4.1.1 Data Pengujian CPT (<i>Cone Penetration Test</i>).....	35
4.1.2 Muka Air Tanah.....	36
4.1.3 Perhitungan Tegangan Vertikal Efektif Tanah	36
4.1.4 <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA).....	40
4.2 Perhitungan Potensi Likuifaksi di Kabupaten Tulungagung	46
4.2.1 Perhitungan Tegangan Vertikal Efektif.....	46
4.2.2 <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA).....	57

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	83



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Batasan – batasan Ukuran Golongan Tanah.....	12
Tabel 2.2	Klasifikasi Tanah	14
Tabel 2.3	Berat Volume Estimasi	15
Tabel 2.4	Rentang Umum nilai Gs untuk Berbagai Jenis Tanah.....	15
Tabel 2.5	Hasil Angka Pori dari Tipe Tanah Granular.....	15
Tabel 2.6	Faktor Koreksi Magnitude untuk Pendekatan Tegangan siklis.....	27
Tabel 4.1	Nilai qc dan FR di Daerah GOR Haji Agus Salim, Padang.....	35
Tabel 4.2	Nilai qc dan FR di Daerah Daerah Lapai, Padang	36
Tabel 4.3	Klasifikasi tanah.....	37
Tabel 4.4	Berat Volume Estimasi.....	38
Tabel 4.5	Perhitungan Tegangan Vertikal Efektif pada Lokasi Daerah GOR Haji Agus Salim, Padang.....	39
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan Tegangan Vertikal Efektif pada Lokasi Daerah Lapai, Padang.....	40
Tabel 4.7	Data Gempa Bumi yang Terjadi di Padang, Sumatera Barat.....	40
Tabel 4.8	Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) berdasarkan rumus empiris Mc. Guire (1963).....	41
Tabel 4.9	Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) berdasarkan rumus empiris Donovan (1973).....	41
Tabel 4.10	Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) berdasarkan rumus empiris Liu and Dong (1996).....	42
Tabel 4.11	Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) berdasarkan rumus empiris Matuscha (1980)	42
Tabel 4.12	Hasil Perhitungan FS berdasarkan data CPT di Daerah GOR Haji Agus Salim, Padang.....	45
Tabel 4.13	Hasil Perhitungan FS berdasarkan data CPT di Daerah Lapai, Padang.....	45

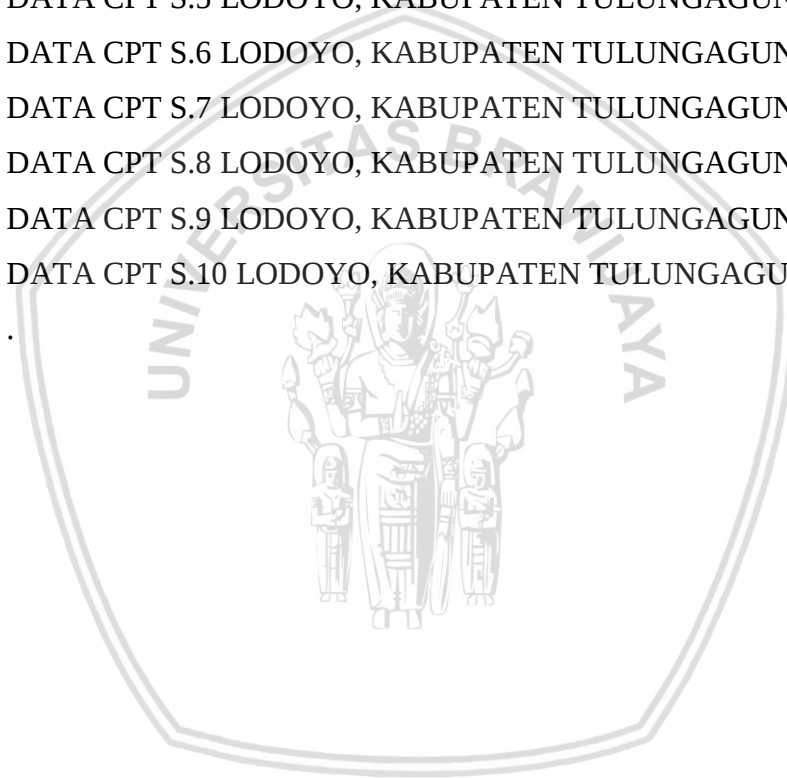
Tabel 4.14	Hasil Estimasi Berat Volume Sesuai Zona dan Tipe Tanah titik 1.	46
Tabel 4.15	Perhitungan Tegangan Vertikal Efektif titik 1 di lokasi Lodoyo, Kabupaten Tulungagung.....	49
Tabel 4.16	Hasil Estimasi Berat Volume Sesuai Zona dan Tipe Tanah titik 3.	52
Tabel 4.17	Perhitungan Tegangan Vertikal Efektif titik 3 di lokasi Lodoyo, Kabupaten Tulungagung.....	55
Tabel 4.18	Data Gempa Bumi yang Terjadi di Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur.....	57
Tabel 4.19	Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) berdasarkan rumus empiris Matuscha (1980).....	58
Tabel 4.20	Faktor Koreksi Magnitude untuk Pendekatan dengan Magnitude 5,5 SR.....	58
Tabel 4.21	Hasil Perhitungan FS berdasarkan data CPT di titik 1 Daerah Lodoyo, Kabupaten Tulungagung.....	59
Tabel 4.22	Hasil Perhitungan FS berdasarkan data CPT di titik 3 Daerah Lodoyo, Kabupaten Tulungagung.....	63
Tabel 4.23	Nilai <i>Peak Ground Acceleration</i> dengan Magnitude yang telah di tingkatkan.....	67
Tabel 4.24	Hasil Analisis Potensi Likuifaksi dengan Nilai PGA sesuai Tabel 4.23 di titik 1.....	67
Tabel 4.25	Hasil Analisis Potensi Likuifaksi dengan Nilai PGA sesuai Tabel 4.23 di titik 3.....	70
Tabel 4.26	Nilai Peak Ground Acceleration dengan Kedalaman dan Epicenter yang diubah.....	72
Tabel 4.27	Potensi Likuifaksi dengan Nilai PGA sesuai Tabel 4.26 di titik 1	72
Tabel 4.28	Potensi Likuifaksi dengan Nilai PGA sesuai Tabel 4.26 di titik 3	75

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Hubungan hiposentrum dan episentrum.....	5
Gambar 2.2	Gempa bumi yang terjadi di Tulungagung.....	8
Gambar 2.3	Letak koordinat episenter gempa bumi yang terjadi di Tulungagung.	9
Gambar 2.4	Ilustrasi jarak horisontal dari pusat gempa.....	10
Gambar 2.5	(a) Elemen tanah dalam keadaan asli. (b) tiga fase elemen tanah.	13
Gambar 2.6	Klasifikasi 12 tanah berdasarkan nilai q_c dan <i>Friction Ratio</i>	14
Gambar 2.7	Metode evaluasi potensi likuifaksi.....	17
Gambar 2.8	Proses terjadinya likuifaksi pada butiran tanah.....	19
Gambar 2.9	Proses terjadinya likuifaksi pada air pori tanah.....	19
Gambar 2.10	Potensi likuifaksi berdasarkan diameter butiran tanah.....	23
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	32
Gambar 4.1	Grafik perilaku tanah berdasarkan data q_c dan FR.....	37

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	DATA CPT S.1 LODOYO, KABUPATEN TULUNGAGUNG...	85
Lampiran 2	DATA CPT S.2 LODOYO, KABUPATEN TULUNGAGUNG...	89
Lampiran 3	DATA CPT S.3 LODOYO, KABUPATEN TULUNGAGUNG...	91
Lampiran 4	DATA CPT S.4 LODOYO, KABUPATEN TULUNGAGUNG...	95
Lampiran 5	DATA CPT S.5 LODOYO, KABUPATEN TULUNGAGUNG...	99
Lampiran 6	DATA CPT S.6 LODOYO, KABUPATEN TULUNGAGUNG...	103
Lampiran 7	DATA CPT S.7 LODOYO, KABUPATEN TULUNGAGUNG...	107
Lampiran 8	DATA CPT S.8 LODOYO, KABUPATEN TULUNGAGUNG...	111
Lampiran 9	DATA CPT S.9 LODOYO, KABUPATEN TULUNGAGUNG...	115
Lampiran 10	DATA CPT S.10 LODOYO, KABUPATEN TULUNGAGUNG.	119



RINGKASAN

Firda Zettyara, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Mei 2018, *Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Menggunakan Data CPT (Cone Penetration Test) di Kabupaten Tulungagung*, Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Harimurti, MT dan Dr. Eng Yulvi Zaika, MT

Gempa bumi dapat menyebabkan bencana alam yang terjadi di bawah permukaan tanah yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada struktur tanah. Resiko kegagalan pada struktur tanah memiliki dampak tanah tidak dapat mendukung atau menopang struktur bangunan di atasnya. Salah satu daerah yang rawan terkena bencana alam gempa bumi adalah Kabupaten Tulungagung yang terletak di Provinsi Jawa Timur. Bahaya terjadinya likuifaksi akibat gempa bumi dapat menyebabkan amblesan, retakan tanah, runtuhnya bangunan atau dengan keluarnya air dalam tanah saat gempa bumi berlangsung. Perlu dilaksanakan potensi likuifaksi yang terjadi di Kabupaten Tulungagung secara analisis.

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi potensi likuifaksi yang terjadi di Kabupaten Tulungagung akibat gempa bumi. Analisa potensi likuifaksi menggunakan data pengujian sondir di lapangan atau *Cone Penetration Test* (CPT). Dalam penelitian ini perlu dilakukan perhitungan kembali terhadap nilai percepatan tanah di permukaan tanah di daerah Padang yang sudah terjadi likuifaksi sesuai dengan data PGA pada penelitian sebelumnya dengan menggunakan rumusan-rumusan empiris. Rumus empiris *mutuscha* (1980) di pilih sebagai validasi pada perhitungan potensi likuifaksi di Kabupaten Tulungagung karena menghasilkan nilai PGA yang paling mendekati dengan nilai PGA di penelitian sebelumnya.

Hasil penelitian yang dilakukan nilai *Safety Factor* yang diperoleh dari perbandingan antara *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) terhadap *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dengan nilai CRR yang diperoleh berdasarkan data gempa 5,5 skala *richter* dan PGA 24,94 gal yang terjadi relatif besar dibandingkan dengan nilai CSR pada setiap kedalaman, sehingga tidak ada zona kedalaman tertentu yang menghasilkan angka keamanan lebih kecil dari satu. Perhitungan potensi likuifaksi di Kabupaten Tulungagung juga dilakukan dengan kemungkinan terjadi peristiwa gempa yang cukup besar dengan gempa rencana 7,1 skala *richter* akan menghasilkan PGA sebesar 91,145 gal saat kedalaman 10 km dan jarak episenter 162 km menghasilkan zona-zona likuifaksi pada kedalaman lapisan tanah yang bervariasi antara 2,4 meter hingga 16,4 meter. Analisis dilakukan juga dengan gempa rencana 6,4 dengan kondisi gempa dangkal menghasilkan zona likuifaksi pada kedalaman bervariasi antara 4,4 meter hingga 12,6 meter.

Kata Kunci: *Peak Ground Acceleration* (PGA), Likuifaksi, CPT, CSR, CRR

SUMMARY

Firda Zettyara, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, May 2018, *Liquefaction Potential Analysis of Earthquake Using The CPT (Cone Penetration Test) in Tulungagung district*, Academic Supervisor: Dr. Ir. Harimurti, MT and Dr. Eng Yulvi Zaika, MT

Earthquakes can cause natural disasters that occur below the surface of the soil which could lead to the occurrence of the damage to the structure of the soil. The risk of failure in the soil structure have an impact the land cannot support or prop up structures on it. One of the areas that were exposed to the danger of natural disasters of earthquakes was located Tulungagung district, East Java. The danger of the occurrence of liquefaction earthquake can cause soil, cracks, collapse of buildings or by the discharge of water in the soil when an earthquake takes place. The analysis needs to be undertaken of the potential liquefaction that occurred in Tulungagung district.

This research has the objective to evaluate the liquefaction potential that occur in Tulungagung district due to the earthquake. Analysis of liquefaction potential using the test data in the sondir field or the Cone Penetration Test (CPT). This research was conducted calculations back against the ground acceleration values at ground level in the area of the field that is already going on liquefaction in accordance with previous research on the PGA data using the formula empirical formulae. Empirical formula mutuscha (1980) on select as validation on the calculation of potential liquefaction in Tulungagung district because it produces the most PGA value approaches the PGA value in previous research.

The research results were values Safety Factor obtained from the comparison between Cyclic Resistance Ratio (CRR) of Cyclic Stress Ratio (CSR) with the CRR values were obtained based on the richter scale earthquake data 5.5 and PGA 24.94 gal that happens relatively large compared to the value of CSR at any depth, therefore there is no specific depth zones that produce safety factor smaller than one of security. Calculation of potential liquefaction in Tulungagung district also is carried out with the possibility of going on a big enough earthquake events with earthquake plan 7.1 richter scale will result in a PGA of 91.145 gal when the depth of 10 km and the distance of the epicenter of the 162 km produce zones of liquefaction soil layer at a depth that varies between 2.4 meters to 16.4 meters. the research on the analysis as well as with an earthquake plan 6.4 with the condition of shallow earthquake generating zones of liquefaction at a depth varying between 4.4 metres up to 12.6 metres.

Keywords: Peak Ground Acceleration (PGA), liquefaction, CPT, CSR, CRR

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa bumi didefinisikan sebagai pergerakan permukaan bumi akibat gelombang seismik yang disebabkan oleh pelepasan energi karena ledakan gunung berapi, atau pergeseran lempeng tektonik. Letak Indonesia yang berada di jalur *Ring of Fire* (Cincin Api Pasifik) menyebabkan daerah Indonesia memiliki potensi bencana gempa bumi yang tinggi. Jalur *Ring of Fire* yang melewati Indonesia merupakan pertemuan empat lempeng benua besar di bumi yaitu lempeng Asia, lempeng Australia, lempeng Samudera Hindia, dan Pasifik.

Gempa bumi dapat menyebabkan bencana alam yang terjadi di bawah permukaan tanah yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada struktur tanah. Resiko kegagalan pada struktur tanah memiliki dampak tanah tidak dapat mendukung atau menopang struktur bangunan di atasnya. Salah satu daerah yang rawan terkena bencana alam gempa bumi adalah Kabupaten Tulungagung yang terletak di Provinsi Jawa Timur tercatat pada tahun 1902, 1939, 1994, 2017.

Permasalahan kegagalan pada struktur tanah yang diakibatkan oleh gempa bumi yaitu likuifaksi. Likuifaksi adalah suatu kejadian di mana suatu massa mengalami kehilangan daya dukungnya pada jenis tanah yang non-kohefif (kepadatan sedang sampai lepas) saat kondisi tanah yang jenuh air, yang disebabkan oleh kenaikan nilai tegangan air pori pada saat mengalami beban siklik akibat gempa bumi, dimana tanah tersebut mengalami perubahan sifat dari *solid* ke *liquid*. Peristiwa likuifaksi pada lapisan tanah dipengaruhi oleh sifat keteknikan tanah, kondisi lingkungan geologi dan karakteristik gempa bumi. Beberapa faktor yang harus dipertimbangkan antara lain ukuran butir, muka air tanah dan percepatan getaran tanah maksimum (Seed dan Idriss, 1971).

Likuifaksi memiliki potensi cukup besar yang menyebabkan keruntuhan bangunan sipil, oleh karena itu, para ahli mengembangkan beberapa metode dalam menganalisis potensi likuifaksi akibat beban gempa. Analisis likuifaksi yang digunakan dalam laporan skripsi ini menggunakan metode uji sondir (*Cone Penetration Test*) di Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur.

1.2 Identifikasi Masalah

Secara umum Indonesia di bagi menjadi 6 wilayah gempa dengan percepatan puncak batuan dasar dengan perioda ulang 500 tahun (Standar Nasional Indonesia, 2002). Wilayah satu merupakan wilayah gempa dengan intensitas gempa yang paling rendah, sebaliknya wilayah enam memiliki tingkat aktifitas gempa yang paling tinggi. Kabupaten Tulungagung Provinsi Jawa Timur terletak pada wilayah 4, dimana percepatan gempa standar di permukaan tanah pada wilayah ini adalah $0,25\text{ g}$ ($1\text{g} = 9,8\text{ m/s}^2$). Nilai percepatan ini sangat dipengaruhi oleh sifat – sifat lapisan tanah.

Dalam penelitian ini perlu dilakukan perhitungan kembali terhadap nilai percepatan tanah di permukaan tanah karena hal ini dapat mempengaruhi pembangunan perumahan/pemukiman ataupun gedung pada Kabupaten Tulungagung. Bahaya terjadinya likuifaksi akibat gempa bumi dapat menyebabkan amblesan, retakan tanah, runtuhnya bangunan atau dengan keluarnya air dalam tanah saat gempa bumi berlangsung dan tanah longsor. Perlu dilaksanakan potensi likuifaksi yang terjadi di Kabupaten Tulungagung secara analisis.

1.3 Rumusan Masalah

Dari penjelasan sebelumnya didapatkan beberapa rumusan masalah yaitu :

1. Bagaimana potensi terjadinya gempa di Kabupaten Tulungagung ?
2. Bagaimana potensi terjadinya likuifaksi di Kabupaten Tulungagung berdasarkan data sondir (*Cone Penetration Test*) ?
3. Bagaimana pengaruh magnitude gempa terhadap zona likuifaksi saat terjadi gempa dangkal di Kabupaten Tulungagung ?

1.4 Batasan Masalah

1. Pengambilan data tanah pada penelitian ini berada di lokasi Kabupaten Tulungagung.
2. Metode yang digunakan untuk mengetahui potensi likuifaksi menggunakan *Cone Penetration Test* (CPT).
3. Data tanah yang digunakan dikhususkan pada lapisan tanah yang mengandung tanah pasir.
4. Tidak memperhitungkan penurunan (*settlement*).
5. Penyebab likuifaksi yang dianalisis hanya terhadap akibat gempa

1.5 Tujuan Penelitian

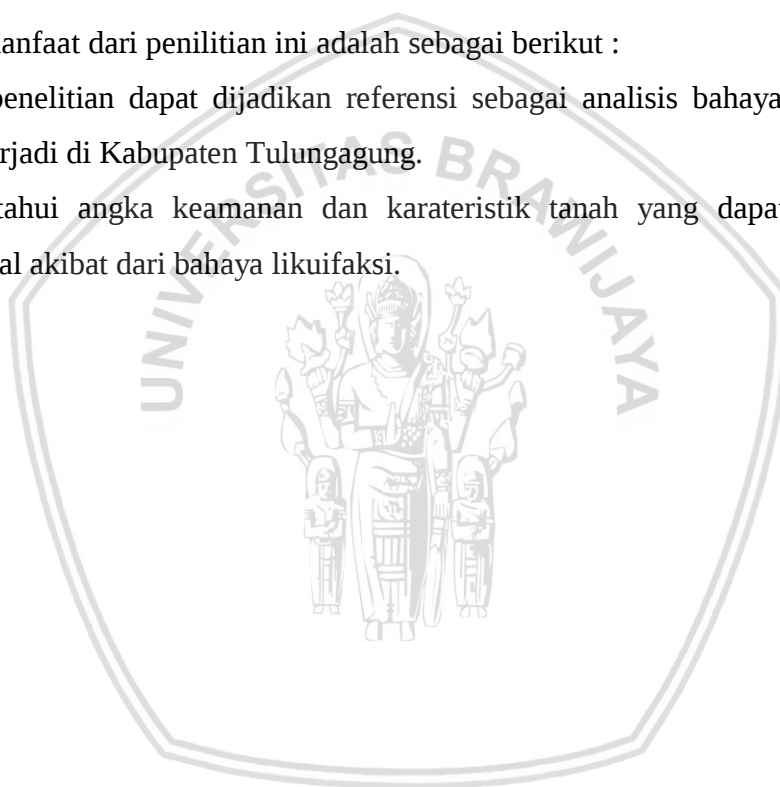
Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui potensi terjadinya gempa di Kabupaten Tulungagung.
2. Mengetahui potensi likuifaksi akibat gempa berdasarkan data sondir (*Cone Penetration Test*) pada lokasi Kabupaten Tulungagung.
3. Mengetahui pengaruh magnitude gempa terhadap zona likuifaksi saat terjadi gempa dangkal di lokasi Kabupaten Tulungagung.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hasil penelitian dapat dijadikan referensi sebagai analisis bahaya dari likuifaksi yang terjadi di Kabupaten Tulungagung.
2. Mengetahui angka keamanan dan karakteristik tanah yang dapat menimbulkan potensial akibat dari bahaya likuifaksi.



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB II

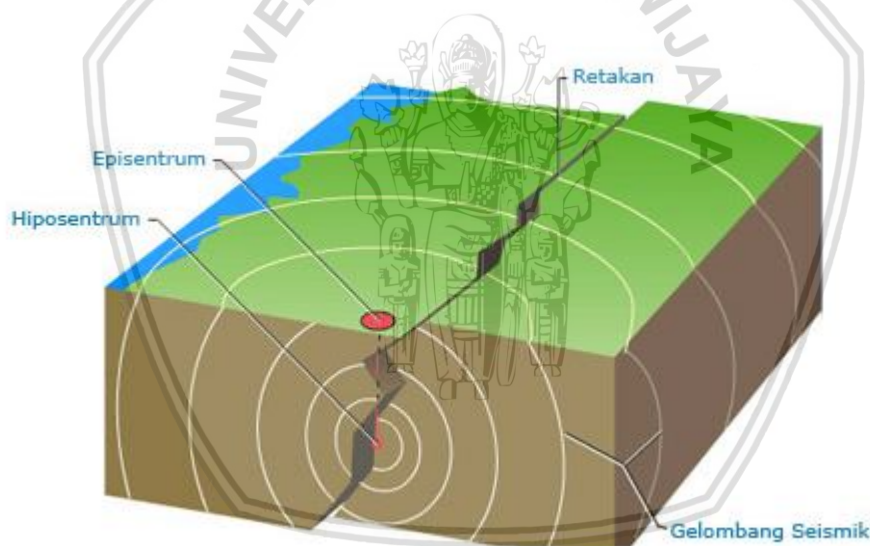
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi

Gempa adalah getaran oleh lapisan kerak bumi yang menimbulkan guncangan pada struktur bangunan atau benda yang berada di permukaan. Getaran yang dihasilkan dari

lapisan kerak bumi terjadi akibat pergerakan lempeng bumi, akibat dari aktivitas gunung berapi yang masih aktif dan akibat bencana alam tanah longsor. Bumi selalu mengalami aktivitas gempa setiap harinya, namun pada umumnya dalam skala kecil dan tidak menyebabkan kerusakan apa-apa. Gempa bumi skala kecil dapat mengiringi gempa bumi dalam skala besar, dan dapat terjadi sebelum, sesudah, atau selepas gempa bumi besar tersebut. Pada umumnya pergerakan lempengan bumi (peristiwa tektonik) yang menyebabkan gempa bumi.

Hiposentrum merupakan pusat letupan yang dihasilkan oleh kerak bumi mengakibatkan getaran ke segala arah. Daerah pada permukaan yang terdekat dengan lokasi hiposentrum atau titik di permukaan tanah di atas hiposentrum disebut episentrum. Besarnya energi letupan dan jarak hiposentrum ke episentrum sangat mempengaruhi kerusakan di permukaan akibat gempa bumi.



Gambar 2.1 Hubungan Hiposentrum dan Episentrum



2.1.1 Gempa Tektonik

Gempa tektonik merupakan gempa yang menimbulkan getaran dari pergerakan lempeng bumi paling luas dan memiliki pengaruh yang cukup besar. Gempa ini terjadi ditimbulkan akibat pelepasan energi regangan akibat antara lempeng bumi. Gempa bumi biasanya terjadi di perbatasan lempengan tektonik tersebut. Lempeng bumi selalu dalam keadaan aktif, tekanan berupa desakan antara kedua lempeng ditimbulkan akibat pergesekan antara lempeng bumi dan menyebabkan terjadinya gempa bumi.

2.1.2 Besaran Kekuatan Gempa

Terdapat dua cara dalam mengukur kekuatan gempa, yaitu berdasarkan intensitas kerusakan yang diakibatkan (*earthquake intensity*) dan berdasarkan besarnya pelepasan energi yang dilepaskan oleh gesekan lempeng bumi disebut magnitude gempa (*earthquake magnitude*) yang dihasilkan. Intensitas gempa mengukur besarnya guncangan yang dirasakan pada daerah yang terjadi gempa. Intensitas gempa lebih berkorelasi dengan tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh gempa pada bangunan dan reaksi orang-orang di suatu wilayah.

a) *Local Earthquake Magnitude*

Pada tahun 1935, Prof. Charles Richter mengembangkan besaran skala gempa untuk gempa kedalaman dangkal dan memiliki episentrum berjarak kurang dari 600 km. Skala besaran gempa ini dikembangkan sebagai skala besaran dengan satuan Richter. Karena skala besaran ini dikembangkan untuk gempa dangkal dan lokal, skala ini juga dikenal sebagai *Local Magnitude Scale* (M_L). Richter memberikan definisi magnitude lokal gempa sebagai logaritma berbasis sepuluh dari amplitude gelombang gempa maksimum dalam mikron direkam menggunakan alat seismograf Wood-Anderson yang terletak pada jarak 100 km dari episentrum (pusat gempa).

$$M_L = \log A - \log A_0 = \log A/A_0 \quad (2-1)$$

Dengan :

M_L : Besaran Gempa

A : Amplitudo jejak gempa maksimum (mm) yang direkam seismograf

A_0 : 0,001 mm (skala gempa lokal nol yang berhubungan dengan besaran gempa terkecil yang pernah direkam).

Pengaruh gempa di permukaan tanah tidak hanya berpengaruh dari jumlah pelepasan energi yang dilepaskan, tetapi juga bergantung dari jarak episentrum gempa dan jarak hiposentrum gempa. Gempa yang melepaskan energi sangat besar kadang kurang dirasakan di permukaan tanah karena jarak sumber gempa yang sangat jauh di dalam bumi.

b) *Earthquake Intensity*

Intensitas lokal merupakan ukuran gempa yang dapat langsung mempengaruhi struktur yaitu besar kecilnya getaran di permukaan tanah di daerah yang dilanda gempa bumi. Karena besar atau intensitas getaran tanah saat dilanda gempa bumi tidak sama maka disebut intensitas lokal. Intensitas gempa lokal berhubungan langsung dengan percepatan tanah maksimum yang berarti berhubungan dengan besar kecilnya kerusakan pada bangunan. Untuk skala standar internasional digunakan skala *Modified Mercalli* dan dinyatakan dalam symbol MM. Skala *Modified Mercalli* terdiri dari 12 skala intensitas dari sangat ringan sampai berat.

Berdasarkan gempa, maka gempa bumi dapat digolongkan ke dalam empat kelompok, yaitu :

1. Gempa lemah : Magnitudo $< 3,5$ SR
2. Gempa sedang : Magnitudo antara 3,5 sampai 5,5 SR
3. Gempa kuat : Magnitudo 5,5 sampai 7 SR
4. Gempa sangat kuat : Magnitudo > 7 SR

Berdasarkan episentrum maka gempa dibagi ke dalam tiga kelompok :

1. Gempa dangkal : berpusat < 70 km
2. Gempa menengah : berpusat antara 70 sampai 300 km
3. Gempa dalam : berpusat > 300 km

Berdasarkan parameter kekuatan gempa di atas, maka gempa bumi yang paling membahayakan kehidupan manusia dan struktur bangunan di atasnya adalah jika terjadi gempa kuat atau sangat kuat dengan titik fokus gempa yang sangat dangkal.

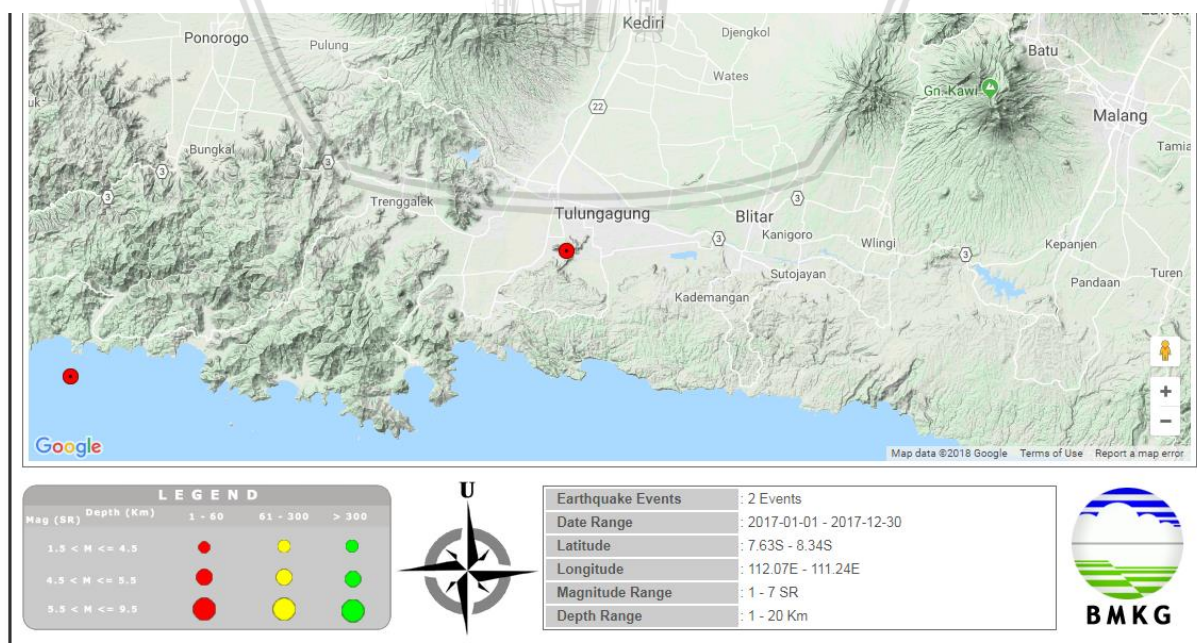
2.1.3 Percepatan Gempa

Salah satu parameter yang didapatkan saat terjadi gempa bumi adalah percepatan tanah. Percepatan tanah yang dipilih untuk dapat menentukan tingkat kerusakan yang paling parah di suatu wilayah akibat terjadinya gempabumi adalah percepatan tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA). Nilai PGA ini bervariasi disetiap

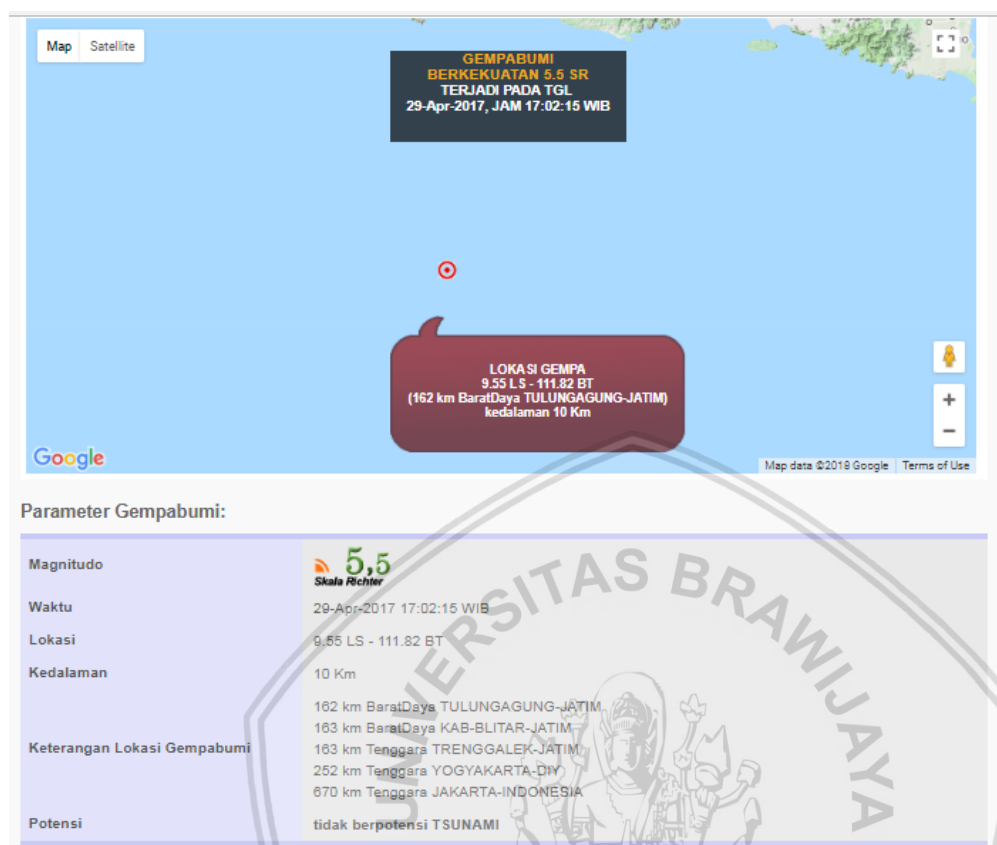
kejadian gempabumi. Hal ini tergantung pada banyak faktor yaitu panjang patahan, kedalaman gempa bumi, jarak dari durasi pusat gempa bumi, dan geologi tanah. Semakin besar nilai PGA yang terjadi akibat gempa bumi maka akan semakin besar pula intensitas gempa bumi yang dirasakan.

Perhitungan percepatan gempa di permukaan tanah pada suatu lokasi harus dilakukan dengan menganalisis lapisan tanah pada lokasi tersebut. Perubahan percepatan gempa di batuan dasar akan berpengaruh langsung pada percepatan gempa di permukaan tanah. Menentukan percepatan gempa di permukaan tanah dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah dari lapisan tanah tersebut. Nilai PGA dapat diperoleh dari peta gerak tanah seismik (Standar Nasional Indonesia, 2012) atau melalui perhitungan rumusan empiris dengan menggunakan data gempa bumi seperti *Mc Guire*, *Si and Midorikawa*, *Donovan* dan rumusan empiris lainnya.

Untuk mendapatkan sejarah data gempa yang pernah terjadi, di dalam penelitian ini menggunakan situs BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika). Situs tersebut akan mengeluarkan data gempa sesuai dengan permintaan yang dibutuhkan. Untuk mendapatkan data gempa yang dibutuhkan, perlu ditentukan letak koordinat lokasi yang ingin diteliti, interval megnetude gempa yang diinginkan serta interval waktu kejadian gempa.



Gambar 2.2 gempa bumi yang terjadi di Tulungagung



Gambar 2.3 letak koordinat episenter gempa bumi yang terjadi di Tulungagung. Berikut ini adalah rumusan empiris yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Donovan (1973)

Lama getaran gempa dipengaruhi oleh besarnya magnitude gempa karena getaran tersebut akan berlangsung minimal selama tidak terjadinya geseran pada patahan. Salah satu metode analisis untuk menghitung percepatan gempa yang diusulkan oleh Donovan (1973) dapat dilihat pada persamaan (2-2). Rumusan empiris Donovan merupakan rumusan yang biasa digunakan untuk menentukan nilai PGA di suatu wilayah. Rumusan empiris Donovan dihitung berdasarkan data rekaman gempabumi yang terjadi pada 09 Februari 1971 di San Fernando. Berikut ini merupakan rumusan empiris Donovan:

$$a_{\max} = \frac{1080 e^{0.5 M}}{(R+25)^{1.32}} \quad (2-2)$$

Keterangan :

$a_{\max}$ = Percepatan gempa di permukaan tanah (gal)

- e = Bilangan logaritma ($e : 2,17828$)
 M = magnitude gempa (skala Richter)
 R = jarak hiposentrum dari sumber gempa (km)

Untuk mengetahui nilai R dapat dilakukan perhitungan menggunakan rumusan dibawah ini:

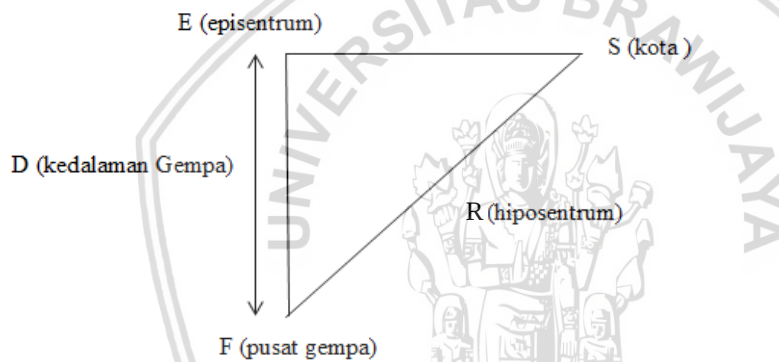
$$R = \sqrt{E^2 + D^2} \quad (2-3)$$

Keterangan :

R = jarak hiposenter (km)

E = jarak episenter (km)

D = kedalaman sumber gempabumi (km)



Gambar 2.4 Ilustrasi jarak horisontal dari pusat gempa

2. *Mc. Guire* (1963)

Rumusan empiris *Mc. Guire* (1963) untuk menentukan nilai percepatan tanah maksimum menggunakan magnitudo gelombang permukaan maka rumusan empirisnya sebagai berikut:

$$a_{\max} = \frac{472,3 \times 10^{0,278M_s}}{(R + 25)^{1,301}} \quad (2-5)$$

Keterangan

$a_{\max}$ = percepatan tanah (gal)

M_s = magnitudo gelombang permukaan

R = jarak hiposentrum (km).

Dimana $R = \sqrt{E^2 + D^2}$ dengan E adalah jarak episenter (km) dan D adalah kedalaman sumber gempabumi (km).

3. *Matuscha* (1980)

Rumusan empiris Matuscha (1980) dalam menentukan nilai percepatan tanahnya menggunakan momen magnitudo seperti pada rumus empiris dibawah ini:

$$a_{\max} = 119 \times e^{0,81M} \times (R+25)^{-1,15} \quad (2-6)$$

Keterangan :

$a_{\max}$ = percepatan tanah (gal)

M = Besarnya gempa menurut skala richter

R = jarak hiposenter (km)

4. *Liu and Dong* (1996)

Percepatan maksimum akibat gempa ($a_{\max}$), dihitung dengan menggunakan persamaan *Liu and Dong* (1996), sebagai berikut:

$$a_{\max} = (a \cdot e^{(b \times M)} \cdot (E + 25)^{-c}) \text{ (cm/dt}^2\text{)} \quad (2-7)$$

$$a = 2,154 \times 106 \times E^{-2,1}$$

$$b = 0,046 + 0,455 \text{ Log } E$$

$$c = 2,515 - 0,486 \text{ Log } E$$

Keterangan :

$a_{\max}$ = percepatan tanah (cm/dt²)

E = jarak episentrum (km)

M = Magnitude gempa

g = 9,81 m/s²

Percepatan gempa di permukaan dapat dinyatakan dalam “g” (percepatan akibat gravitasi bumi, setara dengan gaya gravitasi bumi, dalam m/s² (1 g = 9,81 m/s²) atau dalam “gal” , dimana 1 Gal sama dengan 0.01 m/s² (1 g = 981 Gal)

2.2 Tinjauan tentang Validasi

Validasi di dalam penelitian ini dilakukan menurut penelitian sebelumnya tentang potensi likuifaksi berdasarkan data pengujian CPT dengan studi kasus Gor Haji Agus Salim dan Lapai di Padang berdasarkan gempa Padang Pariaman tanggal 30 September 2009 (Dody Lastaruna, 2009).

2.3 Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral – mineral padat yang tidak tersedimentasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari

bahan – bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang kosong diantara partikel–partikel padat tersebut. Ukuran partikel dari tanah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar. Tanah pada umumnya dapat dinyatakan sebagai kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), atau lempung (*clay*). Klasifikasi ini bergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut. Untuk menerangkan tentang tanah berdasarkan ukuran – ukuran partikelnya, beberapa organisasi telah mengembangkan batasan – batasan ukuran golongan jenis tanah (*soil-separatesize limits*). Tabel berikut merupakan pengklasifikasian jenis tanah menurut beberapa organisasi :

Tabel 2.1

Batasan – batasan Ukuran Golongan Tanah

Nama Golongan	Ukuran butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
Massachusetts Institute of Technology	>2	2 – 0.06	0.06 – 0.002	<0.002
U.S. Departement of Agriculture	>2	2 – 0.05	0.05 – 0.002	<0.002
American Asosiation of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76.2 – 2	2 – 0.075	0.075 – 0.002	< 0.002
Unified Soil Clasification System	76.2 – 4.75	4.75 – 0.075	Halus (Lanau dan Lempung < 0.075)	

Sumber : Craig dan Susilo (1989)

Pengelompokan jenis tanah berdasarkan campuran butir, yaitu :

1. Tanah berbutir kasar merupakan tanah yang sebagian besar komponen butiran tanah berupa pasir dan kerikil.
2. Tanah berbutir halus merupakan tanah yang sebagian besar komponen butiran tanahnya berupa lempung dan lanau.
3. Tanah organik merupakan tanah yang cukup banyak mengandung bahan-bahan organik.

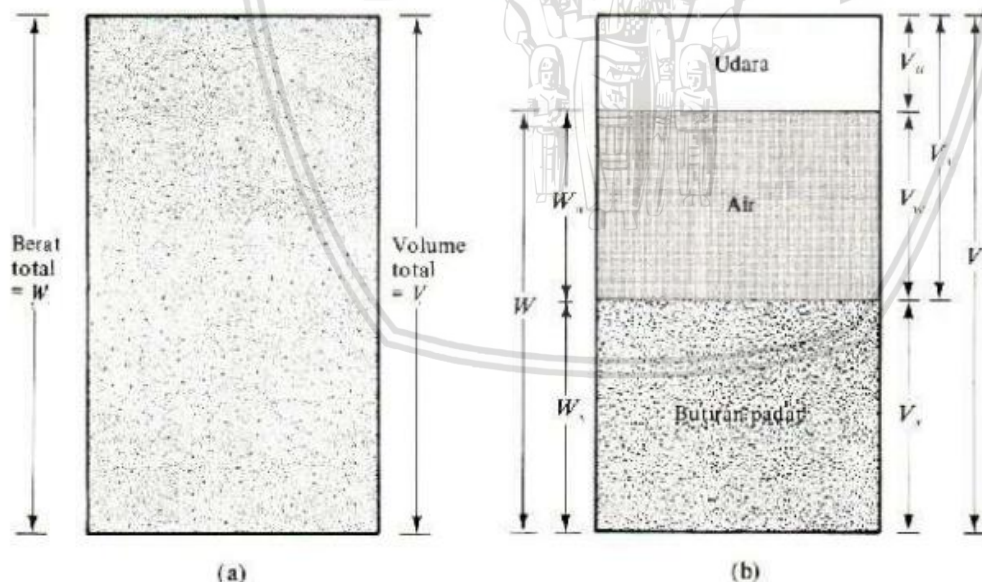
Pengelompokan tanah berdasarkan sifat lekatannya, yaitu :

1. Tanah Kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butiran-butiran tanahnya. Tanah lempungan merupakan tanah kohesif yang mengandung lempung cukup dominan.

2. Tanah Non Kohesif adalah tanah yang tidak memiliki atau sedikit sekali lekatan antara butiran-butiran di dalam tanah. Tanah jenis pasir merupakan tanah Non-Kohesif yang hampir tidak mengandung tanah lempung.
3. Tanah Organik adalah sifat tanahnya sangat dipengaruhi oleh bahan-bahan organik.

2.3.1 Komponen Tanah

Tanah terdiri dari 3 komponen, yaitu udara, air dan padat. Udara dianggap tidak memiliki pengaruh teknis, sedangkan air sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah. Ruang di antara butiran-butiran, sebagian atau seluruhnya dapat terisi oleh air atau udara. Bila rongga tersebut terisi air seluruhnya, tanah dapat dinyatakan dalam kondisi tanah jenuh. Apabila rongga terisi udara dan air, kondisi tanah berada pada jenuh sebagian (*partially saturated*). Tanah kering merupakan tanah yang tidak mengandung air sama sekali atau dapat dinyatakan kadar airnya sama dengan nol. Tanah saat kondisi jenuh, pada umumnya lebih membahayakan terhadap bangunan struktur dibandingkan dengan tanah dalam kondisi kering.



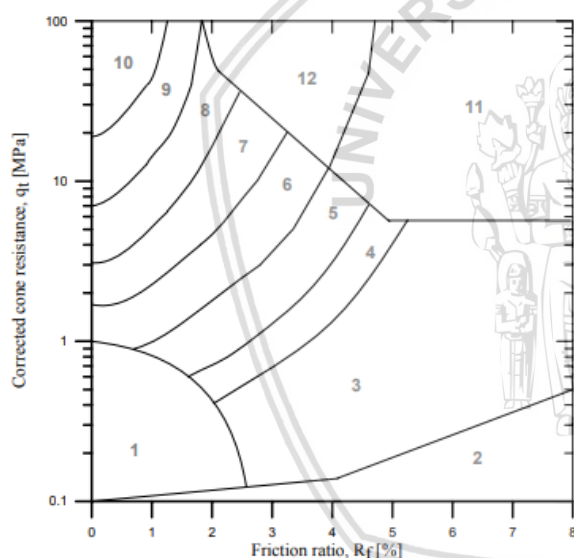
Gambar 2.5 (a) Elemen tanah dalam keadaan asli. (b) Tiga fase elemen tanah

2.3.2 Uji Sondir (*Cone Penetrometer Test*)

Alat kerucut penetrometer (*Cone Penetration Test*) atau lebih sering disebut alat sondir adalah sebuah alat yang ujungnya berbentuk kerucut dengan sudut 60° dan dengan luasan penampang 10 cm^2 yang dipasang pada suatu rangkaian stang dalam dan selubung luar. Prinsip kerja alat ini adalah menekan ujung penetrometer (konus) ke bawah dengan

mesin penekan yang dijangkarkan pada, sementara itu besarnya perlawanan tanah terhadap kerucut penetrasi (q_c) juga terus menerus diukur. Pengukuran dilakukan pada kedalaman - kedalaman tertentu yang telah ditetapkan dan biasanya dilakukan setiap kedalaman 20 cm. Terdapat dua jenis mesin penekan, yaitu tipe menengah dan tipe berat. Tipe menengah dapat mengukur tekanan hingga 150 kg/cm^2 , sedangkan tipe berat dapat mengukur hingga 400 kg/cm^2 . Kedalaman penetrasi dapat mencapai 30 meter, lapisan tanah dapat berupa lapisan tanah lunak.

Alat sondir atau *Cone Penetration Test* memberikan tekanan konus dengan atau tanpa hambatan pelekak (*friction resistance*) yang dapat dikorelasikan pada parameter tanah seperti *undrained shear strength*, kompresibilitas tanah dan dapat memperkirakan jenis lapisan tanah.



Gambar 2.6 Klasifikasi 12 Tanah Berdasarkan Nilai q_c dan *Friction Ratio*

Sumber : Robertson et al, (1986)

Tabel 2.2

Klasifikasi Tanah

<i>Zone</i>	<i>Soil Behavior Type</i>
1	<i>Sensitive fine grained</i>
2	<i>Organic material</i>
3	<i>Clay</i>
4	<i>Silty Clay to clay</i>
5	<i>Clayey silt to silty clay</i>
6	<i>Sandy silt to clayey silt</i>
7	<i>Silty sand to sandy silt</i>
8	<i>Sand to silty sand</i>
9	<i>Sand</i>
10	<i>Gravelly sand to sand</i>
11	<i>Very stiff fine grained*</i>
12	<i>Sand to clayey sand*</i>

Sumber : Robertson et al (1986)

Tabel 2.3

Berat Volume Estimasi

<i>The Estimation of Unit Weight Based Soil Description</i>	
<i>Zone</i>	<i>Approximate of Unit Weight (kg/cm³)</i>
1	0,00175
2	0,00125
3	0,00175
4	0,00180
5	0,00180
6	0,00180
7	0,00185
8	0,00190
9	0,00195
10	0,00200
11	0,00250
12	0,00190

Sumber : Robertson et al., (1986)

Tabel 2.4

Rentang Umum nilai G_s untuk Berbagai Jenis Tanah

Soil Type	Range of G_s
Sand	2.63–2.67
Silts	2.65–2.7
Clay and silty clay	2.67–2.9
Organic soil	less than 2

Sumber : Soil Mechanics Laboratory Manual

Tabel 2.5

Hasil Angka Pori dari Tipe Tanah Granular

Soil type	Void ratio, e		Dry unit weight, γ_d	
	Maximum	Minimum	Minimum (kN/m ³)	Maximum (kN/m ³)
Gravel	0.6	0.3	16	20
Coarse sand	0.75	0.35	15	19
Fine sand	0.85	0.4	14	19
Standard Ottawa sand	0.8	0.5	14	17
Gravelly sand	0.7	0.2	15	22
Silty sand	1	0.4	13	19
Silty sand and gravel	0.85	0.15	14	23

Sumber : Advanced Soil Mechanics

2.4 Likuifaksi

Likuifaksi merupakan fenomena dimana massa tanah mengalami kehilangan nilai *shear resistance* (kuat geser) karena terdapat suatu kondisi yang bersifat monoton, berulang, siklik (dinamik) dan beban yang mengagetkan (*shock loading*) sehingga tanah bersifat seperti suatu cairan yang mengalir hingga *shear stress* (tegangan geser) yang terjadi pada massa tanah tersebut memiliki nilai sama rendahnya dengan nilai berkurangnya *shear resistance* (Sladen dkk, 1985). Likuifaksi terjadi pada umumnya saat kondisi tanah yang relatif jenuh air ($S_r = 95\% - 100\%$), dimana seluruh rongga-rongga di dalam tanah tersebut berisi air. Pada saat terjadi getaran, air yang memenuhi seluruh rongga tanah akan memberikan suatu tekanan di dalam partikel-partikel tanah sehingga mempengaruhi kepadatan dari tanah. Penggetaran pada tanah yang paling sering memicu peningkatan tegangan air pori berasal dari getaran akibat gempa bumi.

Tanah dapat tidak mampu menopang beban bangunan di dalam atau di atasnya ketika mengalami getaran dan sifat lapisan tanah tersebut menjadi cair. Kegagalan struktur bangunan tanah sebagian diyakini merupakan akibat dari likuifaksi yang ternyata hanya merupakan suatu *cyclic mobilitas*. *Cyclic mobilitas* merupakan kejadian akibat dari deformasi tanah yang terjadi tanpa adanya perubahan sifat tanah menjadi seperti cairan. Perbedaan likuifaksi dari *cyclic mobilitas* adalah likuifaksi lebih mengacu kepada mekanisme keruntuhan yang disebabkan oleh kenaikan tegangan air pori selama terjadinya tegangan cyclic undraine (*Undrained cyclic shear*) pada tanah yang jenuh air.

Secara visual peristiwa likuifaksi ini ditandai dengan munculnya lumpur pasir di permukaan tanah berupa semburan tanah pasir (*sand boil*), rembesan air melalui rekahan tanah, atau dalam bentuk tenggelamnya struktur bangunan di atas permukaan, penurunan muka tanah dan perpindahan lateral.

2.4.1 Syarat Likuifaksi

Jenis-jenis tanah tidak seluruhnya berpotensi mengalami likuifaksi. Tanah dapat dikatakan memiliki potensi terjadinya likuifaksi menurut *Association of Bay Area Government*, San-fracisco, yaitu :

1. Tanah memiliki sifat *Loose*/lepas, tidak terkonsolidasi atau tidak terpadatkan serta berjenis tanah pasir maupun lanau tanpa adanya banyak mengandung material lempung yang terkandung didalamnya.
2. Tanah yang berjenis pasir dan lanau tersebut bersifat jenuh air yang disebabkan oleh naiknya muka air tanah.
3. Tanah jenis tersebut mengalami beban getar yang cukup kuat dan berasal dari gempa bumi sehingga likuifaksi dapat terjadi.

Likuifaksi dapat terjadi pada tanah yang mengandung lempung dengan syarat-syarat sebagai berikut :

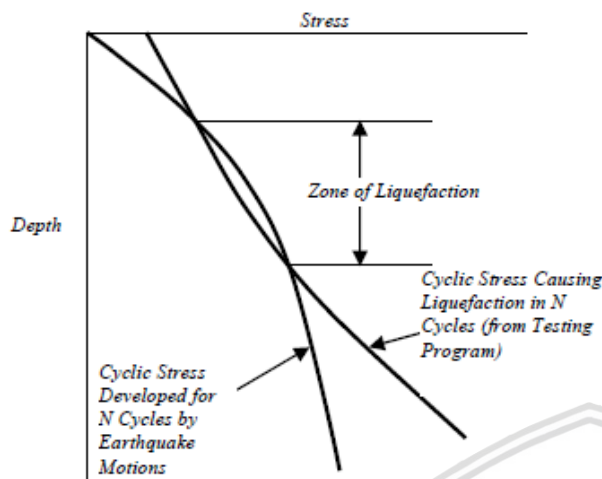
1. $S_r = 95\% - 100\%$
2. LL (*Liquid Limit*) $< 35\%$
3. PL (*Plastic Limit*) > 1
4. $Water\ content > 0.90 \times LL$

Keempat syarat diatas harus terpenuhi, maka liquefaction dikatakan bisa terjadi pada jenis tanah lempung diatas.

Evaluasi potensi likuifaksi dapat dilakukan pada lapisan tanah yang ditentukan kombinasi dari sifat-sifat tanah seperti modulus geser, redaman, berat jenis, gradasi butiran, kepadatan relatif, struktur tanah, lingkungan geologi (proses pembentukan lapisan tanah, sejarah kegempaan, kedalaman air tanah) dan karakteristik gempa (intensitas intensitas guncangan pada tanah, durasi getaran, besaran gempa dan arah getaran gempa). Selain masalah tersebut, maka konsistensi tanah juga sangat menentukan dalamnya peristiwa likuifaksi. Salah satu cara untuk mengetahui konsistensi tanah adalah dengan menggunakan data *Cone Penetration Test* (Robertson dan Wride, 1989). Dari beberapa faktor yang telah disebutkan, tidak semua faktor dapat ditentukan besarnya secara langsung, tetapi dampak yang muncul dari faktor-faktor di atas dapat digunakan kedalam prosedur evaluasi potensial likuifaksi, yaitu dengan melakukan uji beban siklik pada sampel tanah tak terganggu atau bisa juga dengan cara pengukuran karakteristik likuifaksi pada tanah menggunakan beberapa prosedur pengujian di lapangan

Prosedur standar evaluasi likuifaksi, yaitu :

1. Menentukan besaran tegangan siklik (tegangan geser berulang kali) yang muncul akibat pergerakan tanah pada saat gempa bumi, pada setiap kedalaman lapisan tanah dan mengkonversi bentuk tegangan yang tidak beraturan tersebut hingga memiliki besaran yang sama dalam bentuk tegangan siklik. Intensitas guncangan, lama guncangan dan variasi guncangan yang terjadi akibat tegangan pada setiap kedalaman lapisan tanah diubah menjadi suatu besaran yang dapat dihitung. Penentuan besaran tegangan siklik yang terjadi dapat dilakukan dengan cara menganalisa respon tanah terhadap tegangan yang terjadi dengan melibatkan berat sendiri tanah, modulus dinamik dan karakteristik kelembaban.
2. Menentukan besaran tegangan siklik dengan cara uji pembebanan di laboratorium yang diwakili oleh sampel tak terganggu yang dilakukan dengan variasi tekanan bebas yang telah ditentukan atau dengan cara mengkorelasikan properties tanah dengan karakteristik tanah di lapangan.
3. Membandingkan antara tegangan geser yang terjadi akibat gempa bumi dengan hal-hal yang dapat menyebabkan terjadinya likuifaksi untuk menentukan apakah lapisan tanah berada dalam zona likuifaksi atau tidak, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.7



Gambar 2.7 Metode Evaluasi Potensi Likuifaksi

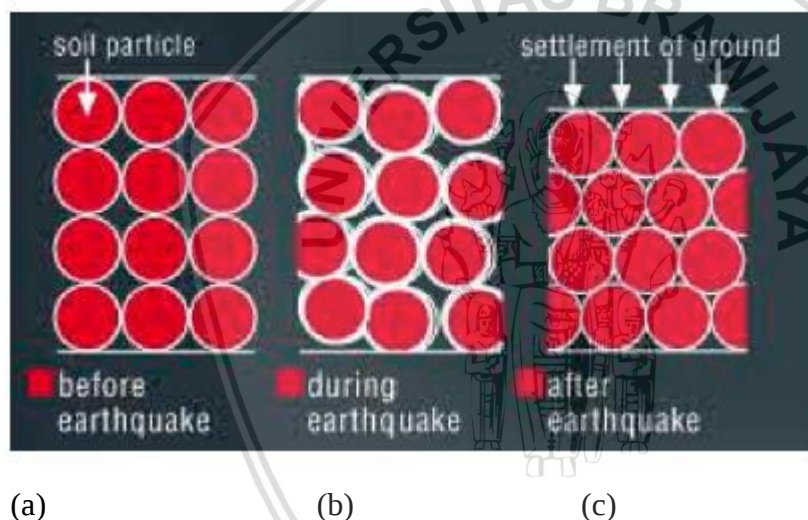
Kekuatan getar yang terjadi pada tanah besar atau kecil dapat berdampak terjadinya likuifaksi adalah tergantung dari sejauh mana daerah yang memiliki jenis tanah pasir lepas yang jenuh air tersebut terhadap sumber gempa bumi berdasarkan patahan sumber gempa. Pada area yang letaknya cukup jauh dari sumber gempa tetapi memiliki jenis tanah yang berpotensi likuifaksi masih dapat mengalami kejadian likuifaksi, namun sebaliknya, hal tersebut tidak akan terjadi apabila jenis tanah tersebut tidak berpotensi likuifaksi.

Dalam menganalisis potensi terjadinya likuifaksi dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu tes uji laboratorium dan pendekatan perhitungan dari tes uji lapangan. Laporan penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hasil nilai potensi likuifaksi dari hasil uji lapangan yaitu dengan data CPT (*Cone Penetration Test*). Metode untuk mengevaluasi potensi likuifaksi adalah mendapatkan nilai faktor keamanan dari hasil perbandingan nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) yaitu nilai yang mencerminkan kekuatan terhadap beban siklik yang diakibatkan oleh gempa bumi dengan nilai CSR (*Cyclic Stress Ratio*) yaitu nilai tegangan yang disebabkan oleh gempa bumi.

2.4.2 Proses Likuifaksi

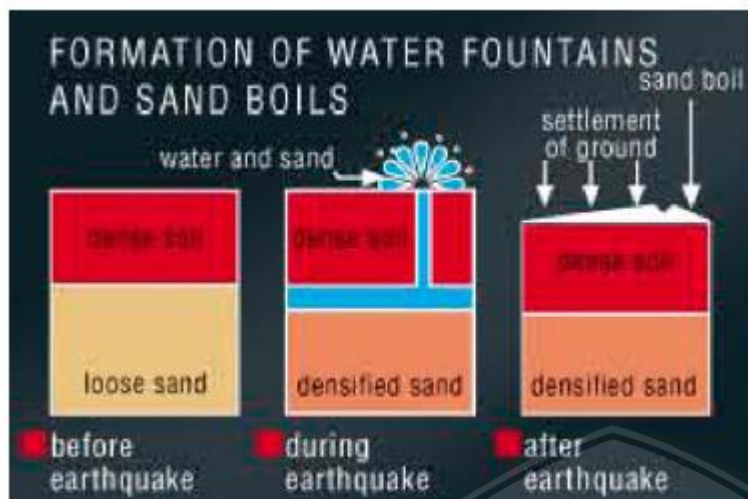
Likuifaksi disebabkan oleh berkurangnya kekuatan suatu massa tanah yang jenuh air. Pada saat kondisi tanah loose/lepas, butiran tanah yang jenuh air tersebar sehingga pori-pori tanah dapat terisi air dengan penuh. Ketika terjadi beban siklik yang monoton dan berulang seperti gempa bumi, maka butiran-butiran tanah yang sebelumnya menyebar tersebut makin mendekat satu sama lain sehingga pori-pori yang awalnya penuh terisi air

saling berdesakan (Gambar 2.8). Sehingga air yang awalnya penuh mengisi pori-pori terdesak keluar hingga ke permukaan tanah (Gambar 2.9). Jika air pori tersebut terhalangi untuk keluar maka tegangan air pori akan meningkat secara progresif dengan adanya beban geser yang terjadi. Hal ini mengakibatkan terjadinya perpindahan tegangan dari massa tanah ke air pori yang menyebabkan berkurangnya nilai tegangan efektif dan tegangan geser dari tanah. Jika nilai tegangan geser pada tanah lebih kecil dari nilai tegangan statisnya, tegangan geser penggerak (*driving shear resistance*), maka pada tanah tersebut akan terjadi deformasi yang sangat besar sehingga massa tanah tersebut akan bersifat seperti liquid (Martin dkk,1975 ; Seed dan Idriss, 1982). bersifat nonkohesif dapat diteliti baik pada beban yang monotonic maupun beban geser siklik.



Gambar 2.8 Proses terjadinya likuifaksi pada butiran tanah.

- Sebelum terjadinya gempa bumi dimana butiran tanah masih bersifat *loose*.
- Selama terjadi gempa bumi dimana butiran tanah mulai mendekat satu sama lain dan menyebabkan pori-pori tanah menjadi menyempit.
- Setelah gempa terjadi tanah menjadi semakin padat sehingga terjadi perubahan volume.



(a)

(b)

(c)

Gambar 2.9 Proses terjadinya liquefaction pada air pori tanah.

- Sebelum gempa dimana pasir lepas (*loose sand*) yang jenuh air tidak terjadi hal yang membahayakan.
- Selama gempa, dimana butiran tanah mendekat satu sama lain dan mendesak air yang memenuhi pori untuk keluar kepermukaan tanah.
- Setelah gempa, karena butiran tanah yang mendekat satu sama lain dan air tanah yang keluar menggenang di permukaan maka terjadi perubahan volume tanah.

Apabila pasir yang bersifat *dense* mengalami kelebihan beban monoton, butiran tanah akan memampat terlebih dahulu, kemudian partikel tanah akan bergerak keatas dan saling berdekatan satu sama lain. Pada kondisi pasir *dense* ini, pasir yang jenuh air ini berkurang tanpa adanya pengaliran air pori, oleh karena itu, bertambahnya volume suatu massa tanah disebabkan oleh berkurangnya nilai tegangan air pori dan meningkatnya nilai tegangan efektif dan tegangan geser.

Pada kondisi tanah yang memiliki kemungkinan terjadi likuifaksi, tanah dapat berdeformasi dengan tegangan geser bernilai kecil. Deformasi yang terjadi tersebut cukup besar sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada bangunan dan menyebabkan banyak kegagalan struktur bagian bawah lainnya. Ada atau tidaknya kejadian likuifaksi ini disebabkan oleh jenis tanahnya, apakah tanah tersebut termasuk jenis pasir lepas, jenuh air atau tidak dan beberapa pertimbangan lainnya untuk menentukan apakah tanah tersebut berpotensi terjadi likuifaksi.

2.4.3 Dampak Likuifaksi

Likuifaksi merupakan salah satu dari banyaknya penyebab kegagalan bangunan struktur di beberapa kejadian setelah gempa bumi terjadi. The Nation Research Council memberikan delapan dampak umum yang terjadi akibat tanah mengalami likuifaksi. Dampak-dampak tersebut yaitu :

1. *Sand Boils* yang biasanya disebabkan oleh terjadinya subsidence dan kerusakan-kerusakan kecil yang terjadi pada struktur.
2. *Flow Failures of slopes* yang terjadi pada talud yang memiliki kemiringan lereng yang curam. Aliran terjadi pada suatu talud dengan kemiringan lebih dari 3° dimana aliran akan bergerak dari posisi talud pada elevasi tinggi ke elevasi rendah (EERI,1994). Sehingga keruntuhan talud jenis ini disebut longsor.
3. *Lateral spreads* yang disebabkan oleh adanya perpindahan arah horizontal pada area berlereng. Pada keruntuhan jenis ini lapisan tanah pada permukaan akan membawa lapisan tanah dibawahnya yang materialnya berpotensi likuifaksi ke area yang permukaannya datar hingga menuju daerah aliran sungai. Kerusakan terjadi pada lapisan permukaan pada saat lapisan tersebut bergerak.
4. *Ground oscillation* dimana terjadi likuifaksi pada deposit tanah yang berada dibawah suatu area yang mengalami pergerakan. Pada kondisi permukaan tanah yang datar, likuifaksi masih dapat menyebabkan terjadinya dampak buruk. Jika tanah dibawahnya mengalami likuifaksi sedangkan lapisan tanah diatasnya tidak maka akan terjadi pergerakan bolak-balik dan naik turun pada lapisan tanah diatasnya akibat lapisan tanah dibawahnya mencair. Sehingga akan menyebabkan munculnya retakan-retakan besar.
5. *Loss of bearing capacity*, yang menyebabkan keruntuhan pondasi. Ketika suatu tanah mengalami liquefaction, tanah tersebut akan bersifat semakin lemah dan kemampuan untuk menahan suatu beban suatu struktur diatasnya akan berkurang sehingga sistem struktur tersebut akan terbangun tidak dengan struktur pondasi yang kuat.
6. *Buoyant rise of buried structure*, seperti misalnya terjadi pada bangunan tanks.

7. *Ground settlement* yang biasanya diikuti oleh terjadinya kerusakan-kerusakan struktur lainnya. Perencana dapat melakukan perhitungan *settlement* yang terjadi pada tanah. biasanya *settlement* dapat berkisar antara 1-5% ketebalan lapisan tanah yang ditinjau. Pada kondisi tanah pasir yang sangat lepas *settlement* dapat terjadi hingga 10% dari ketebalan pasir lepas jenuh air yang terlikuifaksi (Tokimatsu dan Seed, 1984).
8. *Failure of retaining wall*, yang disebabkan oleh meningkatnya beban lateral yang terjadi dari suatu tanah yang terliquifaction atau hilangnya suatu kekuatan dari massa tanah yang sudah mengalami likuifaksi sehingga terjadi kegagalan struktur pondasi.

2.4.4 Cara Penanggulangan Likuifaksi

Penanggulangan terjadinya likuifaksi terhadap tanah perlu dilakukan untuk menghindari kegagalan terhadap bangunan yang dapat terjadi. Terdapat beberapa cara untuk menanggulangi likuifaksi antara lain :

- a. Memperkuat struktur bangunan diatas tanah sehingga kuat terhadap adanya bahaya pergerakan tanah.
- b. Memilih jenis pondasi (termasuk melakukan modifikasi tipe pondasi) yang memungkinkan serta dipasang pada kedalaman yang cukup kuat untuk menahan bahaya likuifaksi.
- c. Melakukan stabilisasi tanah untuk mengurangi potensi terjadinya likuifaksi maupun untuk mengontrol efek yang akan terjadi. Metode-metode yang dilakukan antara lain : mengganti lapisan tanah yang berpotensi likuifaksi, *in-situ stabilization* dengan menggunakan *Grouting*, pemadatan tanah.

2.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Likuifaksi

Terdapat beberapa faktor yang dapat menimbulkan terjadinya likuifaksi pada suatu lapisan tanah. Berdasarkan studi-studi yang telah dilakukan para ahli dapat disimpulkan faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya likuifaksi sebagai berikut :

1. Letak Permukaan air tanah

Kondisi tanah yang memiliki potensi terjadinya likuifaksi adalah tanah yang memiliki permukaan air tanah dekat dengan permukaan tanah. Lapisan tanah yang

tak jenuh air di atas permukaan air tanah tidak akan terlikuifaksi. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan tanah yang berada di atas permukaan tanah yang tidak mungkin terendam air, maka tidak mungkin terjadi likuifaksi.

2. Letak geologis tanah

Tanah yang terletak dalam air lebih cenderung untuk terlikuifaksi karena struktur tanah pada daerah tersebut umumnya memiliki sifat butiran partikel yang saling lepas. Seperti tanah yang terdapat dalam sungai, danau dan samudera akan memiliki partikel tanah yang tidak mengikat satu sama lainnya. Jika terjadi guncangan maka tanah yang memiliki sifat butirannya saling lepas akan terurai lebih cepat jika dibandingkan dengan tanah yang memiliki ikatan antar partikelnya. Sehingga potensi terjadinya likuifaksi lebih besar pada tanah yang berbutir lepas

3. Jenis tanah

Jenis tanah yang rentan kepada likuifaksi adalah tanah yang bersifat tidak berplastisitas (*non plasticity*) atau tanah yang berplastisitas rendah (*low plasticity*). Jika diurutkan dari yang paling kecil sampai yang paling besar daya tahannya terhadap likuifaksinya maka akan di peroleh data sebagai berikut:

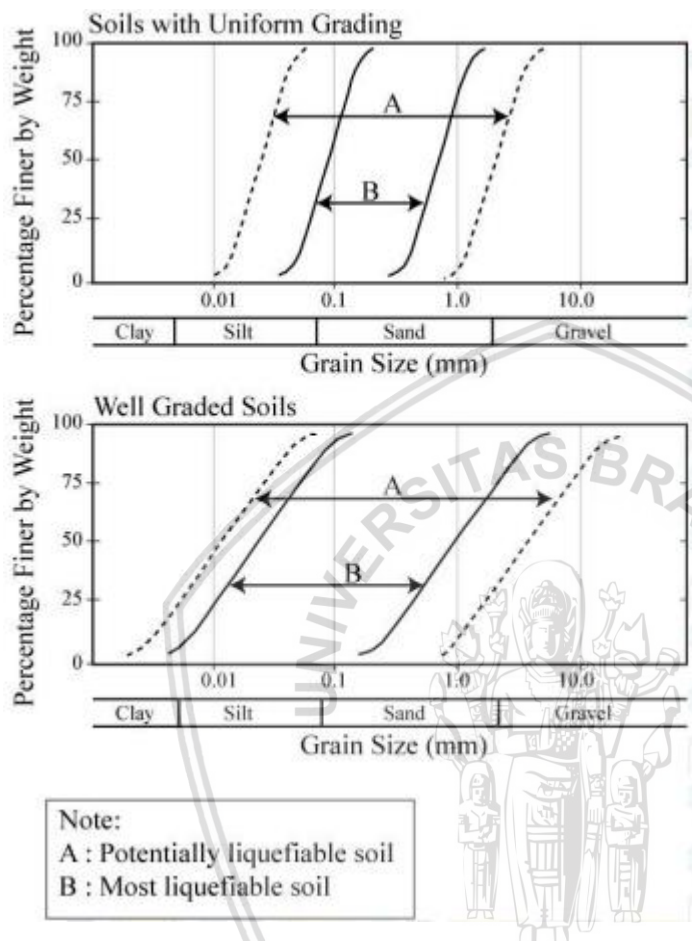
- a. Pasir bersih
- b. Pasir berlanau tidak berplastisitas
- c. Lanau tidak berplastisitas
- d. Kerikil-kerikil

Tanah yang telah diketahui akan beresiko untuk terjadinya likuifaksi selama gempa bumi dapat ditemui di dalam lapisan tanah yang terdiri butiran pasir kecil hingga butiran pasir medium serta pasir yang berisi debu yang berplastisitas rendah. Namun dapat terjadi juga kasus-kasus likuifaksi pada tanah yang berkerikil (Ishihara, 1985)

4. Gradasi ukuran partikel

Pada tanah yang bergradasi baik, butiran yang lebih kecil mengisi rongga yang ada sehingga dapat mengurangi ruang-ruang yang dapat diisi oleh air. Hal ini dapat mengurangi tekanan air pori pada saat terjadinya gempa. Bentuk butiran tanah yang seragam cenderung membentuk tanah yang kurang stabil dibandingkan dengan tanah yang bergradasi baik. Likuifaksi hanya terjadi pada

butiran tanah berpasir. Sedangkan pada butiran kasar (*gravels*) dan butiran halus (*clay*), sulit untuk terjadi likuifaksi.



Gambar 2.10 Potensi likuifaksi berdasarkan diameter butiran tanah

Sumber : Oka, F, (1995)

5. Bentuk partikel

Pada tanah yang memiliki partikel berbentuk bulat akan terjadi rongga atau pori tanah yang lebih banyak dibandingkan dengan tanah yang memiliki partikel bersudut. Banyaknya rongga di dalam tanah ini memungkinkan air yang mengisi tanah lebih banyak dan menyebabkan potensi likuifaksi lebih besar.

6. Rapat relatif tanah

Berdasarkan uji lapangan, tanah yang berkoheesi rendah dan memiliki rapat relatif tanah yang rendah memiliki potensi likuifaksi yang tinggi. Pada pasir lepas

yang tidak berplastisitas kenaikan tegangan air pori pada saat terjadinya gempa akan lebih cepat dibandingkan dengan pasir yang padat.

7. Proses lamanya waktu konsolidasi

Potensi terjadinya likuifaksi pada tanah timbun yang belum terkonsolidasi lebih besar jika dibandingkan dengan tanah yang sudah terkonsolidasi dalam jangka waktu yang lebih lama. Maka semakin lama tanah dibiarkan terkonsolidasi maka semakin besar daya tahan tanah tersebut terhadap bahaya likuifaksi. Hal ini disebabkan oleh adanya ikatan antar partikel yang lebih kuat pada tanah yang sudah terkonsolidasi dibandingkan dengan tanah yang belum terkonsolidasi.

8. Sejarah tanah

Pada tanah yang sudah pernah diberikan pembabatan, partikel- partikel yang terkandung akan lebih rapat dan lebih memiliki daya ikat yang kuat. Hal ini menyebabkan tanah tersebut akan memiliki daya tahan terhadap getaran yang dialaminya. Jika *overconsolidation ratio* (OCR) pada suatu tanah tinggi maka potensi likuifaksi pada tanah tersebut akan menurun

9. Intensitas dari gempa

Syarat utama agar terjadinya likuifaksi adalah getaran. Sumber getaran yang paling sering terjadi adalah getara yang ditimbulkan dari gempa bumi. Karakteristik dari pergerakan gempa bumi, seperti percepatan dan jangka waktu getaran sangat menentukan regangan geser yang akan mendorong partikel-partikel tanah. Dorongan terhadap partikel inilah yang menyebabkan berkurangnya ikatan antar partikel tanah tersebut dan menyebabkan terjadinya likuifaksi. Potensi terjadinya likuifaksi akan meningkat apabila tingkat intensitas gempa bumi dan jangka waktu getaran juga meningkat. Maka gempa bumi yang paling bahaya adalah gempa bumi yang bermagnitude besar dalam jangka waktu yang lama.

Dari data-data yang telah dikumpulkan oleh para ahli, ditemukan bahwa batas dari nilai percepatan gempa yang mengakibatkan likuifaksi pada suatu lokasi adalah 0,1 g dan magnitude lokal adalah 5,0 (*National Research Council* 1985, Isihara). Analisis terhadap likuifaksi yang terjadi pada lokasi-lokasi yang memiliki percepatan gempa kurang dari 0,1 g atau yang bermagnitude lokal kurang dari 5,0 SR umumnya tidak diperlukan lagi.

2.6 Parameter yang Mempengaruhi Likuifaksi

Parameter likuifaksi merupakan parameter yang digunakan sebagai dasar dalam menentukan kriteria likuifaksi yang terjadi pada deposit tanah. perilaku likuifaksi pada tanah dipengaruhi oleh dua parameter utama, yaitu perlawanan terkoreksi (q_{c1}) dan rasio tegangan siklik (CSR). Selain parameter yang telah disebutkan, dalam melakukan analisis potensi likuifaksi dibutuhkan suatu variabel yang diintegrasikan dalam sebuah persamaan yang dapat mendefinisikan kapasitas tanah sebagai tahanan likuifaksi. Para ahli menginisiasikan tahanan tanah terhadap likuifaksi dengan simbol CRR (*Cyclic Resistance Ratio*).

2.6.1 Tegangan Vertikal Total

Tegangan vertikal total merupakan tegangan pada lapisan tanah yang diakibatkan oleh beban dari tanah yang ada di atasnya tanpa memperhitungkan tegangan air pori yang diakibatkan oleh air (u). Semakin jauh kedalaman tanah maka semakin besar tegangan vertikal totalnya. Tegangan vertikal total dapat dihitung dengan rumus:

$$\sigma_v = \Sigma (\gamma \cdot h) \quad (2-8)$$

$$\gamma_{sat} = \frac{G_s \gamma_w + e \gamma_w}{1 + e} \quad (2-9)$$

Keterangan :

- σ_v = Tegangan Vertikal Total (KN/m²)
- γ = Berat isi lapisan tanah (KN/m³)
- γ_{sat} = Berat isi lapisan tanah jenuh (KN/m³)
- e = Angka pori
- h = Kedalaman (m)

2.6.2 Tegangan Vertikal Efektif

Tegangan vertikal Efektif merupakan tegangan pada lapisan tanah yang diakibatkan oleh beban dari tanah yang ada di atasnya dengan memperhitungkan tegangan air pori yang diakibatkan oleh air (u). Tekanan air pori (u), merupakan tekanan air pengisi pori – pori udara diantara partikel – partikel padat. Tekanan air pori membuat tekanan yang berasal dari beban tanah menjadi berkurang. Tegangan vertikal efektif dapat dihitung dengan rumus :

$$\sigma'_v = \sigma_v - u = (h \times \gamma) - (h_w \times \gamma_w) \quad (2-10)$$

Keterangan :

σ'_v	= Tegangan Vertikal Efektif (KN/ m ²)
σ_v	= Tegangan Vertikal Total (KN/ m ²)
u	= Tegangan Air Pori (KN/m ²)
γ	= berat volume tanah (KN/m ³)
γ_w	= Berat volume air (KN/m ³)
h	= Kedalaman (m)
h_w	= kedalaman muka air tanah (m)

2.7 Metode untuk Mengetahui Zona Likuifaksi

Zone of liquifaction ditentukan dengan cara membandingkan evolusi dari tegangan siklik yang terjadi akibat gempa dengan kemampuan tanah tersebut menahan beban siklik.

2.7.1 Faktor Reduksi (r_d)

Faktor reduksi merupakan nilai yang dapat mengurangi tegangan di dalam tanah. Semakin jauh ke dalam tanah maka faktor reduksi akan semakin kecil. Nilai r_d mempengaruhi besarnya nilai CSR (*Cyclic Stress Ratio*) pada suatu lapisan tanah. Semakin kecil nilai r_d maka akan semakin kecil nilai CSR sehingga potensi terjadinya likuifaksi juga semakin kecil.

Faktor pengurang tegangan merupakan fungsi kedalaman, dan dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini (Liao-Whitman, 1986):

$$r_d = 1.0 - 0.00765 \times z \quad \text{untuk } z < 9.15 \text{ m} \quad (2-11)$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267 \times z \quad \text{untuk } 9.15 \text{ m} < z < 23 \text{ m} \quad (2-12)$$

$$r_d = 0.744 - 0.008 \times z \quad \text{untuk } 23 \text{ m} < z < 30 \text{ m} \quad (2-13)$$

$$r_d = 0.5 \quad \text{untuk } z > 30 \text{ m} \quad (2-14)$$

Keterangan :

z = kedalaman tanah (m) yang ditinjau

2.7.2 *Cyclic Stress Ratio* (CSR)

CSR merupakan nilai perbandingan antara tegangan geser rata-rata yang diakibatkan oleh gempa dengan tegangan vertikal efektif di tiap lapisan. Nilai CSR pada suatu lapisan tanah sangat dipengaruhi oleh nilai percepatan gempa. Berdasarkan teori Seed dan Idriss (1971) memformulasikan persamaan untuk *Cyclic Stress Ratio* sebagai berikut :

$$CSR = 0,65 \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) r_d \quad (2-15)$$

Keterangan :

$a_{\max}$: percepatan maksimum dipermukaan tanah

g : percepatan gravitasi bumi

σ'_v : tegangan vertikal efektif

σ_v : tegangan vertikal total

r_d : koefisien tegangan reduksi

Tabel 2.6

Faktor Koreksi Magnitude untuk Pendekatan Tegangan siklis

Magnitude Gempa	$CSR_M / CSR_{M=7.5}$
5,25	1,5
6	1.32
6.75	1.13
7.5	1.00
8.5	0.89

Sumber : Seed (1975).

2.7.3 Cyclic Resistant Ratio (CRR)

Nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) merupakan nilai ketahanan suatu lapisan tanah terhadap tegangan cyclic. Nilai CRR dapat diperoleh dengan beberapa cara, diantaranya berdasarkan hasil pengujian lapangan yaitu hasil pengujian CPT (*Cone Penetration Test*). Normalisasi perlawanan konus perlu dilakukan karena pada dasarnya nilai q_c yang didapatkan dari uji CPT yang dilakukan untuk mengoreksi nilai q_c yang didapatkan berdasarkan tegangan efektif overbuden tanah. Berdasarkan teori Youd dan Idriss (1997) nilai tahanan ujung terkoreksi yang akan diformulasikan, menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$q_{c1N} = C_Q \times \left(\frac{q_c}{P_a} \right) \quad (2-16)$$

$$C_Q = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v} \right)^n \quad (2-17)$$

Keterangan :

C_Q : Faktor Normalisasi tahanan ujung konus

n : Eksponen yang bergantung pada jenis tanah

q_c : Tahanan ujung konus

P_a : Tekanan pada 1 atm

Perhitungan nilai ekuivalen normalisasi *clean sand* CPT (q_{c1N})_{cs} dihitung dengan persamaan berikut :

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c \cdot q_{c1N} \quad (2-18)$$

dimana K_c merupakan faktor koreksi untuk karakteristik butir, didefinisikan dari persamaan berikut (Robertson and Wride, 1988) :

Untuk $I_c < 1,64$ maka :

$$K_c = 1,0 \quad (2-19)$$

Untuk $I_c > 1,64$ maka :

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88 \quad (2-20)$$

Dimana I_c pada persamaan diatas merupakan indeks perilaku tanah yang didefinisikan sebagai persamaan berikut :

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

Perhitungan nilai Q Untuk pasir murni (*clean-sand*), nilai eksponen pakai $n=0,5$ dan untuk tanah jenis lempung menggunakan nilai eksponen pakai $n=1$. Setelah tanah yg diuji telah di klasifikasikan jenisnya maka dihitung dengan persamaan di bawah ini (Youd dan Idriss, 1997):

$$Q = \left[\frac{(q_c - \sigma_v)}{P_a} \right] \times \left[\left(\frac{P_a}{\sigma'_v} \right)^n \right] \quad (2-21)$$

Keterangan :

Q : Tahanan Konus Ternormalisasi

Rasio friksi CPT (f_s) umumnya meningkat dengan meningkatnya *finest content* dan sifat plastisitas tanah, yang memungkinkan perkiraan kasar dari jenis tanah dan *finest content* dapat ditentukan dari data CPT (Robertson and Wride, 1997).

$$F = \left(\frac{f_s}{q_c - \sigma_v} \right) \times 100\% \quad (2-22)$$

Keterangan :

I_c : Indek Perilaku Tipe Tanah

F : *Friction Ratio*

f_s : *Friction Sleeve*

untuk menentukan nilai CRR (*Cyclic Resistant Ratio*) berdasarkan Robertson dan Wride (1998) sebagai berikut :

1. Jika nilai $q_{c1N} < 50$,

$$CRR_{7,5} = 0,833 \times \left(\frac{q_{c1N}}{1000} \right) + 0,05 \quad (2-23)$$

2. Jika nilai $50 < q_{c1N} < 160$

$$CRR_{7,5} = 93 \times \left(\frac{q_{c1N}}{1000} \right)^3 + 0,08 \quad (2-24)$$

Dalam CRR untuk magnitude gempa bumi yang lain dapat diperkirakan menggunakan rumus berikut :

$$CRR = (CRR_{7,5}) \times (MSF)$$

Dimana nilai MSF (*Magnitude Scaling Factor*) nilai-nilai yang disarankan dan disediakan dalam laporan oleh NCEER (Youd and Idriss 1998), yang merangkum hasil lokakarya NCEER 1996.

2.7.4 *Magnitude Scaling Factor (MSF)*

MSF adalah faktor pengali magnitudo gempa dalam skala momen agar setara dengan CRR untuk gempa $M_w = 7,5$. *Magnitude Scaling Factor* digunakan untuk menyesuaikan perhitungan CRR dengan gempa rencana yang ditentukan. Besarnya MSF yang diusulkan dalam Youd dan Idriss (2001) yaitu:

$$M_w < 7,5, \quad MSF = \frac{10^{2,24}}{M^{2,56}} \quad (2-25)$$

$$M_w > 7,5, \quad MSF = (M_w/7,5)^{-2,56} \quad (2-26)$$

2.7.5 Tinjauan Potensi Likuifaksi

Untuk mengetahui daerah yang terjadi likuifaksi atau tidak terjadi likuifaksi dapat dilihat dari faktor keamanan dengan nilai CRR banding CSR dengan nilai kurang dari satu (berpotensi terjadi likuifaksi) atau lebih dari satu (prosentase kecil terjadi likuifaksi).

Berikut ini persamaan yang di gunakan untuk menentukan potensi likuifaksi:

Terjadi Likuifaksi:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} < 1 \quad (2-27)$$

Kondisi kritis:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} = 1 \quad (2-28)$$

Tidak terjadi likuifaksi:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} > 1 \quad (2-29)$$



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini pengumpulan data dimulai dari data primer pokok yang dibutuhkan dalam analisis ini ada dua macam yaitu :

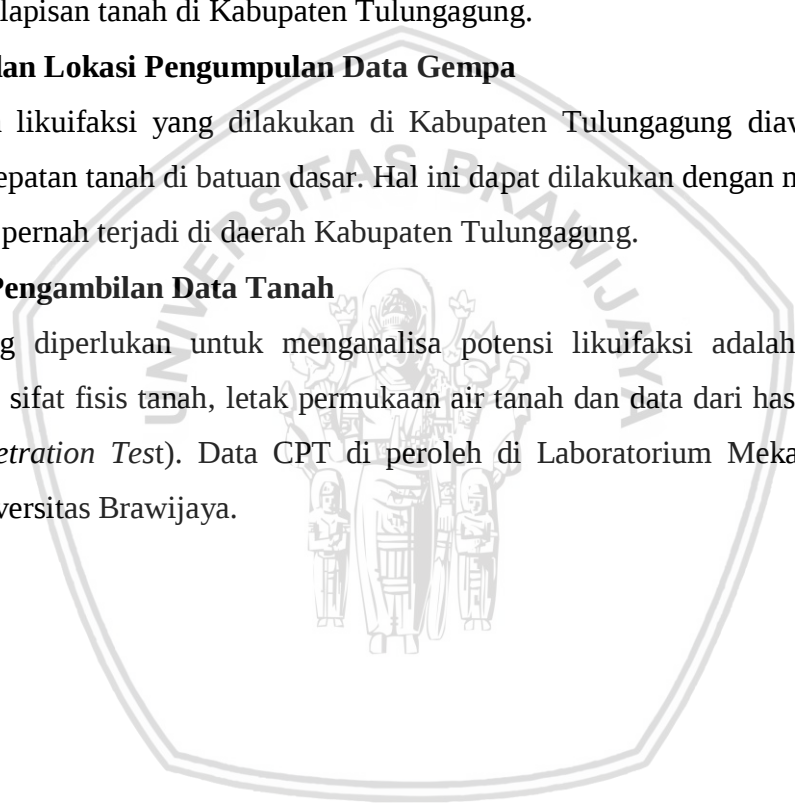
- a. Data sejarah gempa yang pernah terjadi di Kabupaten Tulungagung.
- b. Data lapisan tanah di Kabupaten Tulungagung.

3.1.1 Metode dan Lokasi Pengumpulan Data Gempa

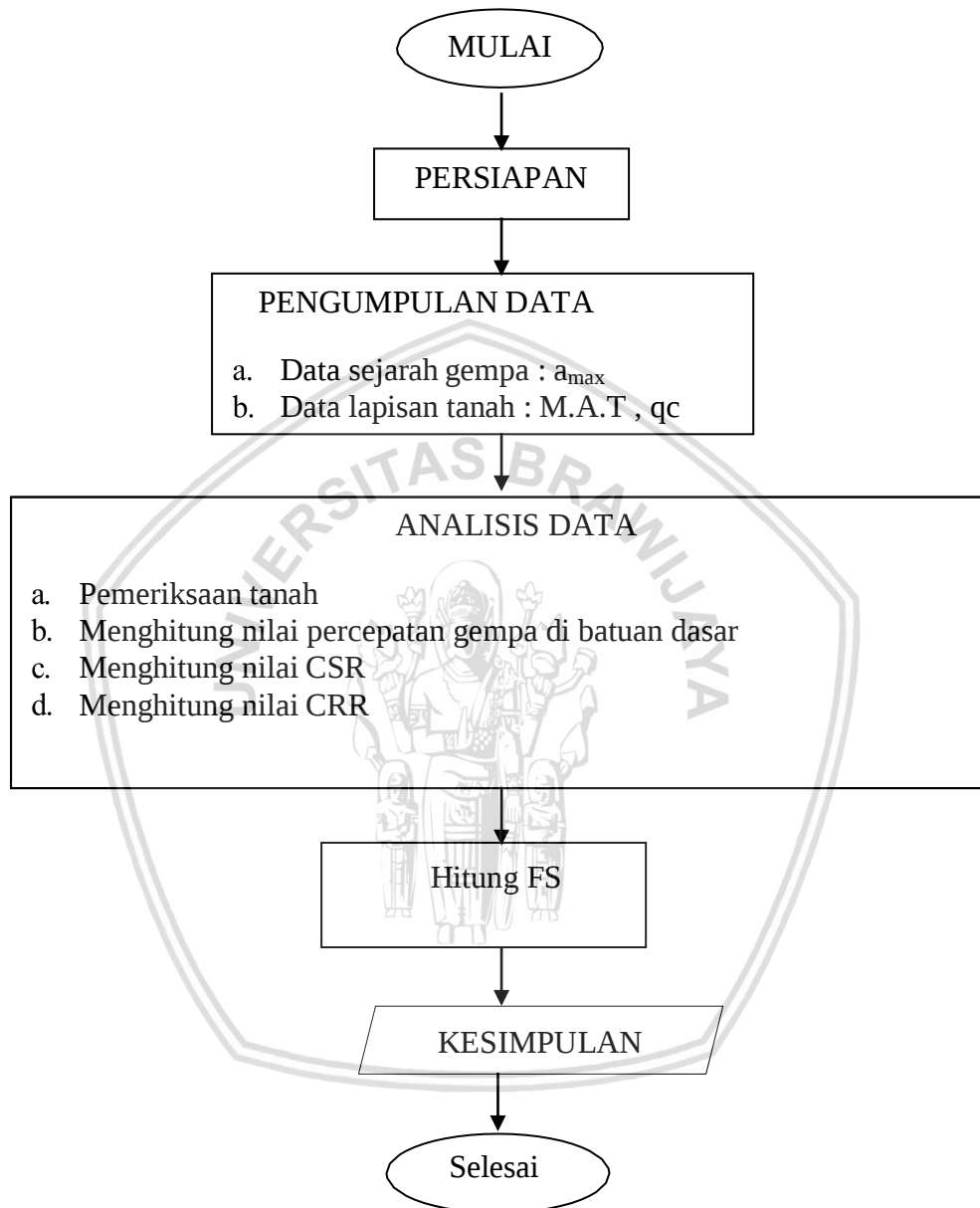
Penelitian likuifaksi yang dilakukan di Kabupaten Tulungagung diawali dengan menghitung percepatan tanah di batuan dasar. Hal ini dapat dilakukan dengan menganalisis data gempa yang pernah terjadi di daerah Kabupaten Tulungagung.

3.1.2 Metode Pengambilan Data Tanah

Data yang diperlukan untuk menganalisa potensi likuifaksi adalah data yang berkaitan dengan sifat fisis tanah, letak permukaan air tanah dan data dari hasil pengujian CPT (*Cone Penetration Test*). Data CPT di peroleh di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Brawijaya.



3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3 Variabel Penelitian

Variabel bebas dengan kata lain dapat diartikan variabel yang mempengaruhi atau menyebabkan, dengan kata lain merupakan faktor – faktor yang diukur dan dibuat beda oleh peneliti dalam melihat suatu perilaku yang sedang diteliti. Pada penelitian ini variabel bebas yang dilakukan adalah jenis lapisan tanah yaitu tanah non-kohefif (tanah pasir) dan percepatan gempa.

Variabel terikat dengan kata lain dapat diartikan sebagai variabel tergantung, artinya merupakan hal – hal yang diamati oleh peneliti dalam menentukan besarnya pengaruh dari variabel bebas. Pada penelitian ini yang merupakan variabel terikat adalah potensi terjadinya likuifaksi.

3.4 Analisis Data

Dalam menganalisis potensi terjadinya likuifakasi di Kabupaten Tulungagung, penelitian di lakukan dengan beberapa tahapan yaitu :

1. Menentukan nilai q_{c1N} , yang merupakan nilai tahanan ujung terkoreksi.
Menggunakan data tanah dari hasil uji CPT (*Cone Penetration Test*).
2. Menghitung nilai Q dengan nilai n , untuk tanah lempung $n = 1$, tanah pasir murni $n = 0,5$
3. Menghitung nilai F
4. Menentukan Magnitude dan percepatan tanah maksimum (a_{max})
Magnitude gempa dan percepatan tanah maksimum digunakan dalam perhitungan *Cyclic Stress Ratio*.
5. Menghitung Nilai CSR (*Cyclic Stress Ratio*)
Dari nilai percepatan gempa di permukaan tanah
6. Menghitung Nilai CRR (*Cylic Resistant Ratio*)
Berdasarkan hasil pengujian CPT (*Cone Penetration Test*) dengan nilai perlawanan terkoreksi.
7. Mengevaluasi potensi likuifaksi
Berdasarkan nilai CSR dan CRR tiap lapisan
8. Menghitung MSF
Jika perencanaan menggunakan gempa rencana selain dari momen magnitude gempa 7.5 maka diperlukan faktor koreksi yaitu *Magnitude Scaling Factor* (MSF) di kalikan dengan CRR.

Halaman ini sengaja dikosongkan.



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Validasi Perhitungan Potensi Likuifaksi GOR Haji Agus Salim dan Lapai, Padang.

Pada saat terjadi gempa Padang Pariaman 30 September 2009 di kota Padang dan sekitarnya, telah terjadi peristiwa likuifaksi di beberapa titik di kota Padang. Kejadian likuifaksi tersebut dapat diamati dengan adanya rembesan air keluar dari rekahan tanah pada saat gempa. Selain itu terjadinya likuifaksi juga dapat ditandai dengan tenggelam dan miringnya beberapa bangunan serta pergerakan horizontal dalam skala yang besar. Validasi di dalam penelitian ini dilakukan menurut penelitian sebelumnya menggunakan data sondir (*Cone Penetration Test*) di lokasi GOR Haji Agus Salim dan Lapai, Padang, Sumatera Barat.

4.1.1 Data Pengujian CPT (*Cone Penetration Test*)

Data pengujian CPT di lapangan yang diperoleh ditunjukkan oleh tabel 4.1 dan tabel 4.2.

Tabel 4.1

Nilai q_c dan FR di Daerah GOR Haji Agus Salim, Padang

Lapisan	Depth range (m)	Depth (cm)	q_c (Kg/cm ²)	FR (%)
1	0,0 – 1,0	100	3,33	1,25
2	1,2 – 2,0	200	4	0,96
3	2,2 – 3,0	300	4,8	0,89
4	3,2 – 4,0	400	24,4	1,43
5	4,2 – 5,0	500	40	1
6	5,2 – 6,0	600	52	1,1
7	6,2 – 7,0	700	63	0,76
8	7,2 – 8,0	800	65	0,8

Tabel 4.2

Nilai q_c dan FR di Daerah Daerah Lapai, Padang

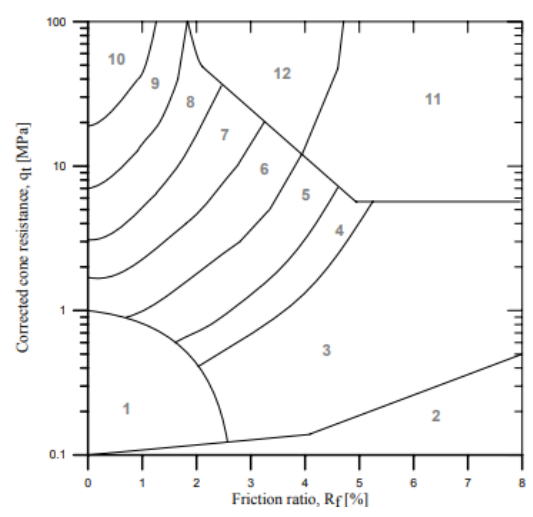
Lapisan	Depth range (m)	Depth (cm)	q_c (Kg/cm ²)	FR (%)
1	0,0 – 1,0	100	12,17	1,59
2	1,2 – 2,0	200	8	0,87
3	2,2 – 3,0	300	1	0
4	3,2 – 4,0	400	26,4	1,16
5	4,2 – 5,0	500	53,4	1,45
6	5,2 – 6,0	600	60,2	1,27
7	6,2 – 7,0	700	37,2	1,61
8	7,2 – 8,0	800	23,2	1,64
9	8,2 - 9,0	900	32,2	1,76

4.1.2 Muka Air Tanah

Muka Air Tanah (M.A.T) adalah ketinggian air tanah yang diukur dari permukaan. Identifikasi muka air tanah dilakukan untuk mengestimasi kedalaman lapisan tanah yang jenuh air karena perilaku likuifaksi potensial terjadi pada tanah yang jenuh air. Tanah dengan kondisi jenuh air memiliki daya dukung yang relatif rendah daripada tanah dengan kondisi tak jenuh air. Disamping itu, kedalaman Muka Air Tanah diperlukan untuk menghitung nilai tegangan total efektif tanah (σ_v') dan untuk kebutuhan perhitungan lainnya (*Cyclic Stress Ratio*). Dari data diperoleh kedalaman muka air tanah daerah ini 0,8 m di bawah permukaan tanah

4.1.3 Perhitungan Tegangan Vertikal Efektif Tanah

Perhitungan tegangan vertikal efektif tanah dengan data sondir (*Cone Penetration Test*) di daerah GOR Haji Agus Salim dan Lapai, Padang seperti pada tabel 4.4 dan tabel 4.5. Estimasi berat volume tanah dilakukan dengan menggunakan grafik perilaku tanah berdasarkan data sondir seperti yang ditunjukkan Gambar 4.1 kemudian hasil dari grafik tersebut dapat di tentukan tipe tanah menurut tabel 4.3 dan dikorelasikan ke Tabel 4.4 untuk mendapatkan berat volume tanah estimasi berdasarkan zona dan tipe tanah yang diperoleh.



Gambar 4.1 Grafik Perilaku Tanah Berdasarkan Data qc dan FR

Sumber: Robertson et al., (1986)

Tabel 4.3

Klasifikasi tanah

Zone	Soil Behavior Type
1	Sensitive fine grained
2	Organic material
3	Clay
4	Silty Clay to clay
5	Clayey silt to silty clay
6	Sandy silt to clayey silt
7	Silty sand to sandy silt
8	Sand to silty sand
9	Sand
10	Gravelly sand to sand
11	Very stiff fine grained*
12	Sand to clayey sand*

Sumber: Robertson et al., (1986)

Tabel 4.4

Berat Volume Estimasi

<i>The Estimation of Unit Weight Based Soil Description</i>	
zone	Approximate of Unit Weight (kg/cm ³)
1	0,00175
2	0,00125
3	0,00175
4	0,0018
5	0,0018
6	0,0018
7	0,00185
8	0,0019
9	0,00195
10	0,002
11	0,0025
12	0,0019

Sumber : *Robertson et al.*, (1986)

a. Data

- Nomor lapisan : 1
- Kedalaman Lapisan : 100 cm
- GWL (Ground Water Level) : 80 cm
- q_c : 3,33 kg/cm²
: 326,56 KN/m²
- Zona 7 dengan tipe tanah *silty sand to sandy silt*
Berat volume tanah : 0,00185 kg/cm³
- g : 9,81 m/s²
- a_{max} : 2,472 m/s²

a. Tegangan Vertikal Total

Saat kedalaman 80 cm (diatas lapisan GWL)

$$\sigma_v = \gamma \times h = (80 \text{ cm}) \times (0,00185 \text{ kg/cm}^3)$$

$$= 0,148 \text{ kg/cm}^2$$

- Tekanan Air Pori (u) = 0 kg/cm²

Saat Kedalaman 100 cm

$$\begin{aligned}\sigma_v &= \Sigma (\gamma \times h) = (0,148 \text{ kg/cm}^2) + ((100 \text{ cm} - 80 \text{ cm}) \times (0,00185 \text{ kg/cm}^3)) \\ &= 0,185 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Keterangan :

h = kedalaman tanah tiap lapisan (100 cm)

$$\begin{aligned}\text{- Tekanan Air Pori (u)} &= h_w \times \gamma_w = (100 \text{ cm} - 80 \text{ cm}) \times (0,000981 \text{ kg/cm}^3) \\ &= 0,01962 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

b. Tegangan Vertikal Efektif (σ'_v)

Saat kedalaman 80 cm (diatas lapisan GWL)

$$\begin{aligned}\sigma'_v &= \sigma_v - u = (0,148 \text{ kg/cm}^2) - 0 \\ &= 0,148 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Saat Kedalaman 100 cm

$$\begin{aligned}\sigma'_v &= \sigma_v - u = (0,185 \text{ kg/cm}^2) - (0,01962 \text{ kg/cm}^2) \\ &= 0,16538 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Tabel 4.5

Perhitungan Tegangan Vertikal Efektif pada Lokasi Daerah GOR Haji Agus Salim, Padang.

Depth (cm)	q_c (Kg/cm ²)	FR (%)	γ (Kg/cm ³)	σ_v (Kg/cm ²)	u (Kg/cm ²)	σ'_v (Kg/cm ²)	σ_v (KN/m ²)	σ'_v (KN/m ²)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	3,33	1,25	0,00185	0,148	0	0,148	14,514	14,514
100	3,33	1,25	0,00185	0,185	0,01962	0,16538	18,142	16,218
200	4	0,96	0,00175	0,36	0,11772	0,24228	35,303	23,759
300	4,8	0,89	0,00190	0,55	0,21582	0,33418	53,936	32,771
400	24,4	1,43	0,00195	0,745	0,31392	0,43108	73,058	42,274
500	40	1	0,00200	0,945	0,41202	0,53298	92,671	52,267
600	52	1,1	0,00200	1,145	0,51012	0,63488	112,284	62,260
700	63	0,76	0,00200	1,345	0,60822	0,73678	131,897	72,252
800	65	0,8	0,00200	1,545	0,70632	0,83868	151,510	82,245

Tabel 4.6

Hasil Perhitungan Tegangan Vertikal Efektif pada Lokasi Daerah Lapai, Padang.

Depth (cm)	qc (Kg/cm ²)	FR (%)	γ (Kg/cm ³)	σ_v (Kg/cm ²)	u (Kg/cm ²)	σ'_v (Kg/cm ²)	σ_v (KN/m ²)	σ'_v (KN/m ²)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	12,17	1,59	0,00190	0,152	0	0,152	14,906	14,906
100	12,17	1,59	0,00190	0,19	0,01962	0,17038	18,632	16,708
200	8	0,87	0,00195	0,385	0,11772	0,26728	37,755	26,211
300	1	0	0,00175	0,56	0,21582	0,34418	54,916	33,752
400	26,4	1,16	0,00195	0,755	0,31392	0,44108	74,039	43,255
500	53,4	1,45	0,00195	0,95	0,41202	0,53798	93,162	52,757
600	60,2	1,27	0,00195	1,145	0,51012	0,63488	112,284	62,260
700	37,2	1,61	0,00195	1,34	0,60822	0,73178	131,407	71,762
800	23,2	1,64	0,00195	1,535	0,70632	0,82868	150,530	81,265
900	32,2	1,76	0,00195	1,73	0,80442	0,92558	169,652	90,767

4.1.4 Peak Ground Acceleration (PGA)

Magnitude gempa dan percepatan tanah maksimum digunakan dalam perhitungan cyclic stress ratio. Parameter ini diperoleh dari data gempa Padang Pariaman tanggal 30 September 2009, yaitu magnitude 7,6 SR dengan amax sebesar 0,28 g atau setara dengan 274,68 gal (Dody Lastaruna, 2009). Penelitian ini mencoba untuk menghitung data gempa bumi yang pernah terjadi di Padang dengan rumus-rumus empiris untuk mencari nilai PGA yang dapat mendekati hasil PGA menurut penelitian sebelumnya.

Berdasarkan data percepatan tanah yang tercatat oleh BMKG Padang Panjang terdapat beberapa kejadian gempa bumi dapat dilihat pada Tabel 4.7 dibawah ini.

Tabel 4.7

Data Gempa Bumi yang Terjadi di Padang, Sumatera Barat

No	Tanggal	Bulan	Tahun	Kedalaman (m)	Magnitude (SR)	Episenter km
1	16	2	2004	33	5,1	56
2	7	6	2006	33	4,7	98
3	6	3	2007	30	6,4	55
4	24	2	2008	30	5,3	157
5	30	9	2009	71	7,6	50
6	10	9	2011	52	4,3	26
7	15	7	2012	10	4	67
8	19	2	2013	10	4	3
9	11	9	2014	10	5	14
10	3	3	2015	26	6	179

Masing-masing kejadian data gempa bumi tersebut dihitung nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) menggunakan rumusan empiris *Mc. Guire* (1963) dengan persamaan (2.5), rumus empiris *Donovan* (1973) dengan persamaan (2.2), rumusan empiris Matuscha (1980) dengan persamaan (2.6), rumusan empiris Liu and Dong (1996) dengan persamaan (2.7).

Tabel 4.8

Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) berdasarkan rumus empiris *Mc. Guire* (1963)

No	Tanggal	Bulan	Tahun	Kedalaman (m)	Magnitude (Sr)	Episenter (km)	R (km)	PGA (gal)
1	16	2	2004	33	5,1	56	65,00	35,444
2	7	6	2006	33	4,7	98	103,41	17,280
3	6	3	2007	30	6,4	55	62,65	84,314
4	24	2	2008	30	5,3	157	159,84	15,795
5	30	9	2009	71	7,6	50	86,84	132,373
6	10	9	2011	52	4,3	26	58,14	23,548
7	15	7	2012	10	4	67	67,74	16,857
8	19	2	2013	10	4	3	10,44	58,928
9	11	9	2014	10	5	14	17,20	89,048
10	3	3	2015	26	6	179	180,88	21,489

Keterangan :

R = Jarak hiposenter (Km) sesuai dengan persamaan (2.3)

Berdasarkan hasil dari tabel 4.8, nilai PGA yang terbesar didapatkan dari rumus empiris *Mc. Guire* (1963) yaitu 132,373 gal saat terjadi gempa bumi tanggal 30 september 2009 dengan magnitude sebesar 7,6 skala richter.

Tabel 4.9

Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) berdasarkan rumus empiris *Donovan* (1973)

No	Tanggal	Bulan	Tahun	Kedalaman (m)	Magnitude (Sr)	Episenter km	R (km)	PGA (gal)
1	16	2	2004	33	5,1	56	65,000	36,415
2	7	6	2006	33	4,7	98	103,407	18,650
3	6	3	2007	30	6,4	55	62,650	72,233
4	24	2	2008	30	5,3	157	159,841	15,564
5	30	9	2009	71	7,6	50	86,839	95,411
6	10	9	2011	52	4,3	26	58,138	27,103
7	15	7	2012	10	4	67	67,742	20,193
8	19	2	2013	10	4	3	10,440	71,891
9	11	9	2014	10	5	14	17,205	94,121

10	3	3	2015	26	6	179	180,878	19,158
----	---	---	------	----	---	-----	---------	--------

Berdasarkan hasil dari tabel 4.9, nilai PGA yang terbesar didapatkan dari rumus empiris *Donovan* (1973) yaitu 95,411 gal saat terjadi gempa bumi tanggal 30 september 2009 dengan magnitude sebesar 7,6 skala richter.

Tabel 4.10

Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) berdasarkan rumus empiris *Liu and Dong* (1996)

No	Tanggal	Bulan	Tahun	Depth (m)	Magnitude (Sr)	Episenter km	R (km)	a	b	c	PGA (gal)
1	16	2	2004	33	5,1	56	65,0	335,8	0,87	1,6	18,27
2	7	6	2006	33	4,7	98	103,4	126,7	0,96	1,5	6,74
3	6	3	2007	30	6,4	55	62,6	362,8	0,86	1,6	58,9
4	24	2	2008	30	5,3	157	159,8	50,8	1,05	1,4	7,01
5	30	9	2009	71	7,6	50	86,8	182,8	0,93	1,5	126,8
6	10	9	2011	52	4,3	26	58,1	424,5	0,85	1,6	10,74
7	15	7	2012	10	4	67	67,7	307,9	0,88	1,6	6,58
8	19	2	2013	10	4	3	10,4	15629,6	0,51	2,0	88,96
9	11	9	2014	10	5	14	17,2	5475,1	0,61	1,9	88,5
10	3	3	2015	26	6	179	180,9	39,2	1,07	1,4	12,8

Berdasarkan hasil dari tabel 4.10, nilai PGA yang terbesar didapatkan dari rumus empiris *Donovan* (1973) yaitu 126,8 gal saat terjadi gempa bumi tanggal 30 september 2009 dengan magnitude sebesar 7,6 skala richter.

Tabel 4.11

Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) berdasarkan rumus empiris *Matuscha* (1980)

No	Tanggal	Bulan	Tahun	Kedalaman (m)	Magnitude (Sr)	Episenter km	R (km)	PGA (gal)
1	16	2	2004	33	5,1	56	65,000	41,902
2	7	6	2006	33	4,7	98	103,407	20,139
3	6	3	2007	30	6,4	55	62,650	123,813
4	24	2	2008	30	5,3	157	159,841	21,536
5	30	9	2009	71	7,6	50	86,839	247,276
6	10	9	2011	52	4,3	26	58,138	24,012
7	15	7	2012	10	4	67	67,742	16,607
8	19	2	2013	10	4	3	10,440	50,204
9	11	9	2014	10	5	14	17,205	92,316
10	3	3	2015	26	6	179	180,878	33,540

Berdasarkan hasil dari tabel 4.11, nilai PGA yang terbesar didapatkan dari rumus empiris *Matuscha* (1980) yaitu 247,276 gal saat terjadi gempa bumi tanggal 30 september 2009

dengan magnitude sebesar 7,6 skala richter, maka, nilai validasi PGA dari rumus empiris Matuscha (1980) yang mendekati nilai PGA dari penelitian sebelumnya yaitu 274,68 gal . Koefisien tegangan reduksi (rd) ditentukan berdasarkan kedalaman yang ditinjau (Liao and Whitemann, 1986) rumus yang digunakan adalah sebagai berikut,

$$\begin{aligned} rd &= 1 - (0,000765 \cdot z) \\ &= 1 - (0,00765 \cdot 1) \\ &= 0,992 \end{aligned}$$

Perhitungan *Cyclic Stress Ratio* (CSR) menggunakan persamaan sebagai berikut (Seed and Idriss, 1971),

$$\begin{aligned} CSR &= 0,65 \times \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \times \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) \times rd \\ &= 0,65 \times \left(\frac{2,472}{9,81} \right) \times \left(\frac{18,142}{16,218} \right) \times 0,992 \\ &= 0,182 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai Q untuk tanah pasir murni (*clean-sand*) eksponen yang sesuai yaitu 0,5 (Youd and Idriss, 1997)

$$\begin{aligned} Q &= \left[\frac{(q_c - \sigma_v)}{Pa} \right] \times \left[\left(\frac{Pa}{\sigma'_v} \right)^n \right] \\ &= \left[\frac{(326,56 - 18,142)}{98,065} \right] \times \left[\left(\frac{98,065}{16,218} \right)^{0,5} \right] \\ &= 7,73 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai F menggunakan persamaan Youd and Idriss (1997),

$$\begin{aligned} F &= \left(\frac{fs}{q_c - \sigma_v} \right) \times 100\% \\ &= \left(\frac{58,8396}{326,56 - 18,142} \right) \times 100\% \\ &= 0,191 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai I_c menggunakan persamaan Youd and Idriss (1997),

$$I_c = [(3,47 - \log Q)^2 + (1,22 + \log F)^2]^{0,5}$$

$$= [(3.47 - \log 7,73)^2 + (1.22 + \log 0,191)^2]^{0.5}$$

$$= 2,899$$

Perhitungan nilai K_c , faktor koreksi untuk karakteristik butir, didefinisikan dari persamaan berikut (Robertsion and Wride, 1988) :

Untuk $I_c < 1,64$ maka :

$$K_c = 1,0$$

Untuk $I_c > 1,64$ maka :

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88$$

$$= -0,403 (2,899)^4 + 5,581 (2,899)^3 - 21,63 (2,899)^2 + 33,75 (2,899) - 17,88$$

$$= 5,69$$

Perhitungan nilai C_N yang merupakan faktor normalisasi tahanan ujung konus dengan P_a adalah tekanan pada 1 atm.

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v} \right)^n$$

$$= \left(\frac{98,065}{16,218} \right)^{0,5}$$

$$= 2,46$$

Perhitungan nilai q_{c1N} diformulasikan dengan persamaan berikut (Youd and Idriss, 1997),

$$q_{c1N} = C_N \times \left(\frac{q_c}{P_a} \right)$$

$$= 2,46 \times \left(\frac{326,56}{326,56} \right)$$

$$= 8,188$$

Perhitungan nilai $(q_{c1N})_{cs}$

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c \cdot q_{c1N}$$

$$= 5,69 (8,188)$$

$$= 46,55$$

Menghitung nilai CRR dengan persamaan berikut (Robertson dan Wride, 1998) apabila nilai $q_{c1} < 50$

$$\begin{aligned} CRR_{7,5} &= 0,833 \times \left(\frac{q_{c1}N}{1000} \right) + 0,05 \\ &= 0,833 \times \left(\frac{8,188}{1000} \right) + 0,05 \\ &= 0,0568 \end{aligned}$$

Menghitung *Factor of Safety* (FS) dengan persamaan berikut,

$$\begin{aligned} FS &= \frac{CRR}{CSR} \\ &= \frac{0,0568}{0,182} = 0,31 \end{aligned}$$



Tabel 4.12 Hasil Perhitungan FS berdasarkan data CPT di Daerah GOR Haji Agus Salim, Padang

Depth (m)	qc (KN/m ²)	σ_v (KN/m ²)	σ'_v (KN/m ²)	rd	CSR	Q	F	Ic	Cq	qc1N	Kc	(q _{c1N}) _{cs}	CRR _{7,5}	Fs	potensi likuifaksi
1	326,56	18,142	16,218	0,992	0,182	7,73	0,191	2,899	2,46	8,188	5,69	46,555	0,057	0,31	Likuifaksi
2	392,26	35,303	23,759	0,985	0,240	7,40	0,165	2,932	2,03	8,126	6,02	48,934	0,057	0,24	Likuifaksi
3	470,71	53,936	32,771	0,977	0,263	7,35	0,141	2,953	1,73	8,303	6,24	51,799	0,057	0,22	Likuifaksi
4	2392,79	73,058	42,274	0,969	0,274	36,03	0,025	2,725	1,52	37,163	4,18	155,5	0,081	0,29	Likuifaksi
5	3922,60	92,671	52,267	0,962	0,279	53,50	0,015	2,746	1,37	54,790	4,35	238,12	0,095	0,34	Likuifaksi
6	5099,38	112,284	62,260	0,954	0,282	63,82	0,012	2,777	1,26	65,262	4,59	299,53	0,106	0,38	Likuifaksi
7	6178,10	131,897	72,252	0,946	0,283	71,83	0,010	2,806	1,17	73,396	4,83	354,66	0,117	0,41	Likuifaksi
8	6374,23	151,510	82,245	0,939	0,283	69,29	0,009	2,824	1,09	70,977	4,99	354,04	0,113	0,40	Likuifaksi

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan FS berdasarkan data CPT di Daerah Lapai, Padang

Depth (m)	qc (KN/m ²)	σ_v (KN/m ²)	σ'_v (KN/m ²)	rd	CSR	Q	F	Ic	Cq	qc1N	Kc	(q _{c1N}) _{cs}	CRR _{7,5}	Fs	potensi likuifaksi
1	1193,45	18,632	16,708	0,992	0,181	29,02	0,050	2,634	2,42	29,484	3,54	104,48	0,0746	0,41	Likuifaksi
2	784,52	37,755	26,211	0,985	0,232	14,73	0,079	2,781	1,93	15,474	4,63	71,62	0,0629	0,27	Likuifaksi
3	98,07	54,916	33,752	0,977	0,260	0,75	1,364	3,763	1,70	1,705	19,42	33,10	0,0514	0,20	Likuifaksi
4	2588,92	74,039	43,255	0,969	0,272	38,61	0,023	2,725	1,51	39,751	4,18	166,26	0,0831	0,31	Likuifaksi
5	5236,67	93,162	52,757	0,962	0,278	71,51	0,011	2,757	1,36	72,804	4,43	322,44	0,1159	0,42	Likuifaksi
6	5903,51	112,284	62,260	0,954	0,282	74,12	0,010	2,784	1,26	75,553	4,65	351,55	0,1201	0,43	Likuifaksi
7	3648,02	131,407	71,762	0,946	0,284	41,92	0,017	2,791	1,17	43,486	4,71	204,72	0,0876	0,31	Likuifaksi
8	2275,11	150,530	81,265	0,939	0,285	23,80	0,028	2,833	1,10	25,486	5,08	129,36	0,0815	0,29	Likuifaksi
9	3157,69	169,652	90,767	0,931	0,285	31,67	0,020	2,830	1,04	33,469	5,04	168,79	0,0835	0,29	Likuifaksi

4.2 Perhitungan Potensi Likuifaksi di Kabupaten Tulungagung

4.2.1 Perhitungan Tegangan Vertikal Efektif

Untuk analisis likuifaksi, tidak semua titik bor dianalisis. Di dalam penelitian ini diambil 2 (dua) titik bor saja yaitu satu dilokasi titik 1 dan satu lainnya di lokasi titik 3.

Tabel 4.14

Hasil Estimasi Berat Volume Sesuai Zona dan Tipe Tanah titik 1.

Lapisan	depth (m)	depth (cm)	qc (kg/cm ²)	FR (%)	Zona	Tipe Tanah	γ (Kg/cm ³)
1	0.00	0	0	0	-	-	0
	0.20	20	10	3.198	7	silty sand to sandy silt	0,00185
	0.40	40	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00185
	0.60	60	20	1.599	8	sand to silty sand	0,0019
	0.80	80	10	9.594	11	very stiff fine grained	0,0025
	1.00	100	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00185
2	1.20	120	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00185
	1.40	140	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00185
	1.60	160	10	3.198	6	sandy silt to clayey silt	0,0018
	1.80	180	10	3.198	6	sandy silt to clayey silt	0,0018
	2.00	200	10	3.198	6	sandy silt to clayey silt	0,0018
	2.20	220	10	3.198	6	sandy silt to clayey silt	0,0018
3	2.40	240	5	6.396	3	clay	0,00175
	2.60	260	5	6.396	3	clay	0,00175
	2.80	280	5	6.396	3	clay	0,00175
	3.00	300	10	3.198	6	sandy silt to clayey silt	0,0018
	3.20	320	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00185
4	3.40	340	20	1.599	8	sand to silty sand	0,0019
	3.60	360	20	1.599	8	sand to silty sand	0,0019
	3.80	380	20	1.599	8	sand to silty sand	0,0019
	4.00	400	15	4.264	5	clayey silt to silty clay	0,0018
	4.20	420	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00185
5	4.40	440	2	9.594	3	clay	0,00175
	4.60	460	2	9.594	3	clay	0,00175
	4.80	480	5	6.396	3	clay	0,00175
	5.00	500	5	6.396	3	clay	0,00175
	5.20	520	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00185
6	5.40	540	20	1.599	8	sand to silty sand	0,0019
	5.60	560	25	1.279	9	sand	0,00195
	5.80	580	20	3.198	7	silty sand to sandy silt	0,00185
	6.00	600	40	1.599	9	sand	0,00195
7	6.20	620	20	1.599	8	sand to silty sand	0,0019

8	6.40	640	30	1.066	9	sand	0,00195
	6.60	660	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00185
	6.80	680	20	1.599	8	sand to silty sand	0,0019
	7.00	700	20	1.599	8	sand to silty sand	0,0019
	7.20	720	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00185
	7.40	740	5	6.396	3	clay	0,00175
	7.60	760	5	6.396	3	clay	0,00175
	7.80	780	10	6.396	11	very stiff fine grained	0,0025
9	8.00	800	50	1.279	9	sand	0,00195
	8.20	820	25	3.838	7	silty sand to sandy silt	0,00185
	8.40	840	20	1.599	9	sand	0,0019
	8.60	860	20	1.599	9	sand	0,0019
	8.80	880	20	1.599	9	sand	0,0019
10	9.00	900	30	2.132	8	sand to silty sand	0,0019
	9.20	920	20	3.198	7	silty sand to sandy silt	0,00185
	9.40	940	25	1.279	9	sand	0,00195
	9.60	960	30	1.066	9	sand	0,00195
	9.80	980	25	1.279	9	sand	0,00195
11	10.00	1000	40	1.599	9	sand	0,00195
	10.20	1020	30	1.066	9	sand	0,00089
	10.40	1040	5	6.396	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	10.60	1060	40	0.800	10	garvelly sand to sand	0,00094
	10.80	1080	35	0.914	9	sand	0,00089
12	11.00	1100	40	3.198	12	sand to clayey sand	0,00086
	11.20	1120	60	1.066	10	garvelly sand to sand	0,00094
	11.40	1140	80	0.800	10	garvelly sand to sand	0,00094
	11.60	1160	50	1.279	9	sand	0,00089
	11.80	1180	20	1.599	8	sand to silty sand	0,00080
13	12.00	1200	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	12.20	1220	5	6.396	3	clay	0,00068
	12.40	1240	5	6.396	3	clay	0,00068
	12.60	1260	5	6.396	3	clay	0,00068
	12.80	1280	10	3.198	6	sandy silt to clayey silt	0,00080
14	13.00	1300	20	1.599	8	sand to silty sand	0,00080
	13.20	1320	30	1.066	8	sand to silty sand	0,00080
	13.40	1340	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	13.60	1360	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	13.80	1380	10	3.198	6	sandy silt to clayey silt	0,00080
15	14.00	1400	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	14.20	1420	20	1.599	8	sand to silty sand	0,00080
	14.40	1440	40	1.599	9	sand	0,00089
	14.60	1460	45	0.711	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	14.80	1480	35	0.914	9	sand	0,00089

16	15.00	1500	45	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	15.20	1520	40	1.599	9	sand	0,00089
	15.40	1540	45	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	15.60	1560	25	1.279	9	sand	0,00089
	15.80	1580	20	3.198	7	silty sand to sandy silt	0,00080
17	16.00	1600	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	16.20	1620	10	3.198	6	sandy silt to clayey silt	0,00086
	16.40	1640	10	3.198	6	sandy silt to clayey silt	0,00086
	16.60	1660	20	1.599	8	sand to silty sand	0,00080
	16.80	1680	45	0.711	10	garvelly sand to sand	0,00094
18	17.00	1700	20	1.599	8	sand to silty sand	0,00080
	17.20	1720	20	1.599	8	sand to silty sand	0,00080
	17.40	1740	25	1.279	9	sand	0,00089
	17.60	1760	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	17.80	1780	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00080
19	18.00	1800	20	1.599	8	sand to silty sand	0,00080
	18.20	1820	30	1.066	9	sand	0,00089
	18.40	1840	25	1.279	9	sand	0,00089
	18.60	1860	25	1.279	9	sand	0,00089
	18.80	1880	40	1.599	9	sand	0,00089
20	19.00	1900	20	3.198	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	19.20	1920	25	1.279	9	sand	0,00089
	19.40	1940	25	2.558	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	19.60	1960	40	1.599	9	sand	0,00089
	19.80	1980	35	0.914	9	sand	0,00089
21	20.00	2000	25	1.279	9	sand	0,00089
	20.20	2020	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	20.40	2040	15	4.264	5	clayey silt to silty clay	0,00100
	20.60	2060	20	1.599	9	sand	0,00089
	20.80	2080	30	2.132	8	sand to silty sand	0,00080

Tabel 4.15

Perhitungan Tegangan Vertikal Efektif titik 1 di lokasi Lodooyo, Kabupaten Tulungagung.

Lapisan	depth m	depth cm	qc kg/cm ²	FR %	γ Kg/cm ³	σ_v Kg/cm ²	u Kg/cm ²	σ'_v Kg/cm ²	σ_v KN/m ²	σ'_v KN/m ²
1	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
	0.20	20	10	3,198	0,00185	0,037	0	0,037	3,63	3,63
	0.40	40	15	2.132	0,00185	0,07	0,00	0,07	7,26	7,26
	0.60	60	20	1.599	0,0019	0,11	0,00	0,11	10,98	10,98
	0.80	80	10	9.594	0,0025	0,16	0,00	0,16	15,89	15,89
	1.00	100	15	2.132	0,00185	0,20	0,00	0,20	19,51	19,51
2	1.20	120	15	2.132	0,00185	0,24	0,00	0,24	23,14	23,14
	1.40	140	15	2.132	0,00185	0,27	0,00	0,27	26,77	26,77
	1.60	160	10	3.198	0,0018	0,31	0,00	0,31	30,30	30,30
	1.80	180	10	3.198	0,0018	0,35	0,00	0,35	33,83	33,83
	2.00	200	10	3.198	0,0018	0,38	0,00	0,38	37,36	37,36
	2.20	220	10	3.198	0,0018	0,42	0,00	0,42	40,89	40,89
3	2.40	240	5	6.396	0,00175	0,45	0,00	0,45	44,33	44,33
	2.60	260	5	6.396	0,00175	0,49	0,00	0,49	47,76	47,76
	2.80	280	5	6.396	0,00175	0,52	0,00	0,52	51,19	51,19
	3.00	300	10	3.198	0,0018	0,56	0,00	0,56	54,72	54,72
	3.20	320	15	2.132	0,00185	0,60	0,00	0,60	58,35	58,35
	3.40	340	20	1.599	0,0019	0,63	0,00	0,63	62,08	62,08
4	3.60	360	20	1.599	0,0019	0,67	0,00	0,67	65,80	65,80
	3.80	380	20	1.599	0,0019	0,71	0,00	0,71	69,53	69,53
	4.00	400	15	4.264	0,0018	0,75	0,00	0,75	73,06	73,06
	4.20	420	15	2.132	0,00185	0,78	0,00	0,78	76,69	76,69
	4.40	440	2	9.594	0,00175	0,82	0,00	0,82	80,12	80,12
	4.60	460	2	9.594	0,00175	0,85	0,00	0,85	83,55	83,55
5	4.80	480	5	6.396	0,00175	0,89	0,00	0,89	86,98	86,98
	5.00	500	5	6.396	0,00175	0,92	0,00	0,92	90,42	90,42
	5.20	520	15	2.132	0,00185	0,96	0,00	0,96	94,04	94,04
	5.40	540	20	1.599	0,0019	1,00	0,00	1,00	97,77	97,77
	5.60	560	25	1.279	0,00195	1,04	0,00	1,04	101,60	101,60
	5.80	580	20	3.198	0,00185	1,07	0,00	1,07	105,22	105,22
6	6.00	600	40	1.599	0,00195	1,11	0,00	1,11	109,05	109,05
	6.20	620	20	1.599	0,0019	1,15	0,00	1,15	112,77	112,77
	6.40	640	30	1.066	0,00195	1,19	0,00	1,19	116,60	116,60
	6.60	660	15	2.132	0,00185	1,23	0,00	1,23	120,23	120,23
	6.80	680	20	1.599	0,0019	1,26	0,00	1,26	123,95	123,95
	7.00	700	20	1.599	0,0019	1,30	0,00	1,30	127,68	127,68
7	7.20	720	15	2.132	0,00185	1,34	0,00	1,34	131,31	131,31
	7.40	740	5	6.396	0,00175	1,37	0,00	1,37	134,74	134,74
	7.60	760	5	6.396	0,00175	1,41	0,00	1,41	138,17	138,17

	7.80	780	10	6.396	0,0025	1,46	0,00	1,46	143,08	143,08
	8.00	800	50	1.279	0,00195	1,50	0,00	1,50	146,90	146,90
	8.20	820	25	3.838	0,00185	1,54	0,00	1,54	150,53	150,53
	8.40	840	20	1.599	0,0019	1,57	0,00	1,57	154,26	154,26
9	8.60	860	20	1.599	0,0019	1,61	0,00	1,61	157,98	157,98
	8.80	880	20	1.599	0,0019	1,65	0,00	1,65	161,71	161,71
	9.00	900	30	2.132	0,0019	1,69	0,00	1,69	165,44	165,44
	9.20	920	20	3.198	0,00185	1,72	0,00	1,72	169,06	169,06
	9.40	940	25	1.279	0,00195	1,76	0,00	1,76	172,89	172,89
10	9.60	960	30	1.066	0,00195	1,80	0,00	1,80	176,71	176,71
	9.80	980	25	1.279	0,00195	1,84	0,00	1,84	180,54	180,54
	10.00	1000	40	1.599	0,00195	1,88	0,00	1,88	184,36	184,36
	10.20	1020	30	1.066	0,000888	1,90	0,020	1,88	186,10	184,18
	10.40	1040	5	6.396	0,0008	1,91	0,04	1,87	187,67	183,82
11	10.60	1060	40	0.800	0,000941	1,93	0,06	1,87	189,52	183,75
	10.80	1080	35	0.914	0,000888	1,95	0,08	1,87	191,26	183,56
	11.00	1100	40	3.198	0,000864	1,97	0,10	1,87	192,95	183,33
	11.20	1120	60	1.066	0,000941	1,99	0,12	1,87	194,80	183,26
	11.40	1140	80	0.800	0,000941	2,01	0,14	1,87	196,64	183,18
12	11.60	1160	50	1.279	0,000888	2,02	0,16	1,87	198,39	182,99
	11.80	1180	20	1.599	0,0008	2,04	0,18	1,86	199,96	182,64
	12.00	1200	15	2.132	0,0008	2,05	0,20	1,86	201,52	182,28
	12.20	1220	5	6.396	0,000683	2,07	0,22	1,85	202,86	181,70
	12.40	1240	5	6.396	0,000683	2,08	0,24	1,85	204,20	181,11
13	12.60	1260	5	6.396	0,000683	2,10	0,26	1,84	205,54	180,53
	12.80	1280	10	3.198	0,0008	2,11	0,27	1,84	207,11	180,17
	13.00	1300	20	1.599	0,0008	2,13	0,29	1,83	208,68	179,82
	13.20	1320	30	1.066	0,0008	2,14	0,31	1,83	210,24	179,46
	13.40	1340	15	2.132	0,0008	2,16	0,33	1,83	211,81	179,10
14	13.60	1360	15	2.132	0,0008	2,18	0,35	1,82	213,38	178,75
	13.80	1380	10	3.198	0,0008	2,19	0,37	1,82	214,95	178,39
	14.00	1400	15	2.132	0,0008	2,21	0,39	1,82	216,52	178,04
	14.20	1420	20	1.599	0,0008	2,22	0,41	1,81	218,08	177,68
	14.40	1440	40	1.599	0,000888	2,24	0,43	1,81	219,83	177,50
15	14.60	1460	45	0.711	0,0008	2,26	0,45	1,81	221,39	177,14
	14.80	1480	35	0.914	0,000888	2,28	0,47	1,80	223,14	176,96
	15.00	1500	45	2.132	0,0008	2,29	0,49	1,80	224,71	176,60
	15.20	1520	40	1.599	0,000888	2,31	0,51	1,80	226,45	176,42
	15.40	1540	45	2.132	0,0008	2,33	0,53	1,80	228,02	176,07
16	15.60	1560	25	1.279	0,000888	2,34	0,55	1,79	229,76	175,88
	15.80	1580	20	3.198	0,0008	2,36	0,57	1,79	231,33	175,53
	16.00	1600	15	2.132	0,0008	2,37	0,59	1,79	232,89	175,17
17	16.20	1620	10	3.198	0,000864	2,39	0,61	1,78	234,59	174,94

		16.40	1640	10	3.198	0,000864	2,41	0,63	1,78	236,28	174,72
		16.60	1660	20	1.599	0,0008	2,43	0,65	1,78	237,85	174,36
		16.80	1680	45	0.711	0,000941	2,44	0,67	1,78	239,70	174,28
		17.00	1700	20	1.599	0,0008	2,46	0,69	1,77	241,27	173,92
		17.20	1720	20	1.599	0,0008	2,48	0,71	1,77	242,83	173,57
		17.40	1740	25	1.279	0,000888	2,49	0,73	1,77	244,58	173,39
18		17.60	1760	15	2.132	0,0008	2,51	0,75	1,76	246,14	173,03
		17.80	1780	15	2.132	0,0008	2,53	0,77	1,76	247,71	172,67
		18.00	1800	20	1.599	0,0008	2,54	0,78	1,76	249,28	172,32
		18.20	1820	30	1.066	0,000888	2,56	0,80	1,76	251,02	172,14
		18.40	1840	25	1.279	0,000888	2,58	0,82	1,75	252,76	171,96
19		18.60	1860	25	1.279	0,000888	2,60	0,84	1,75	254,51	171,77
		18.80	1880	40	1.599	0,000888	2,61	0,86	1,75	256,25	171,59
		19.00	1900	20	3.198	0,0008	2,63	0,88	1,75	257,82	171,24
		19.20	1920	25	1.279	0,000888	2,65	0,90	1,74	259,56	171,05
		19.40	1940	25	2.558	0,0008	2,66	0,92	1,74	261,13	170,70
20		19.60	1960	40	1.599	0,000888	2,68	0,94	1,74	262,87	170,52
		19.80	1980	35	0.914	0,000888	2,70	0,96	1,74	264,61	170,33
		20.00	2000	25	1.279	0,000888	2,72	0,98	1,74	266,35	170,15
		20.20	2020	15	2.132	0,0008	2,73	1,00	1,73	267,92	169,80
		20.40	2040	15	4.264	0,000999	2,75	1,02	1,73	269,88	169,83
21		20.60	2060	20	1.599	0,000888	2,77	1,04	1,73	271,63	169,65
		20.80	2080	30	2.132	0,0008	2,79	1,06	1,73	273,19	169,30

Tabel 4.16

Hasil Estimasi Berat Volume Sesuai Zona dan Tipe Tanah titik 3.

Lapisan	depth (m)	depth (cm)	qc (kg/cm ²)	FR (%)	Zona	Tipe Tanah	γ (Kg/cm ³)
	0.00	0	0	0	-	-	0
1	0.20	20	2	9.594	3	clay	0,00175
	0.40	40	10	3.198	7	silty sand to sandy silt	0,00185
	0.60	60	25	1.279	9	sand	0,00195
	0.80	80	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00185
	1.00	100	2	9.594	3	clay	0,00175
2	1.20	120	2	9.594	3	clay	0,00175
	1.40	140	2	9.594	3	clay	0,00175
	1.60	160	2	9.594	3	clay	0,00175
	1.80	180	2	9.594	3	clay	0,00175
	2.00	200	2	9.594	3	clay	0,00175
3	2.20	220	2	9.594	3	clay	0,00175
	2.40	240	2	9.594	3	clay	0,00175
	2.60	260	2	9.594	3	clay	0,00175
	2.80	280	2	9.594	3	clay	0,00175
	3.00	300	5	6.396	3	clay	0,00175
4	3.20	320	5	6.396	3	clay	0,00175
	3.40	340	5	6.396	3	clay	0,00175
	3.60	360	2	9.594	3	clay	0,00175
	3.80	380	2	9.594	3	clay	0,00175
	4.00	400	2	9.594	3	clay	0,00175
5	4.20	420	2	9.594	3	clay	0,00175
	4.40	440	2	9.594	3	clay	0,00175
	4.60	460	2	9.594	3	clay	0,00175
	4.80	480	5	6.396	3	clay	0,00175
	5.00	500	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00185
6	5.20	520	10	3.198	6	sandy silt to clayey silt	0,0018
	5.40	540	10	3.198	6	sandy silt to clayey silt	0,0018
	5.60	560	5	6.396	3	clay	0,00175
	5.80	580	5	6.396	3	clay	0,00175
	6.00	600	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00185
7	6.20	620	10	3.198	7	silty sand to sandy silt	0,00185
	6.40	640	5	6.396	3	clay	0,00175
	6.60	660	5	6.396	3	clay	0,00175
	6.80	680	5	6.396	3	clay	0,00175
	7.00	700	15	4.264	11	very stiff fine grained	0,0025
8	7.20	720	25	3.838	12	sand to clayey sand	0,0019
	7.40	740	30	2.132	8	sand to silty sand	0,0019
	7.60	760	40	1.599	8	sand to silty sand	0,0019
	7.80	780	25	1.279	8	sand to silty sand	0,0019

	8.00	800	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00185
	8.20	820	5	6.396	3	clay	0,00175
	8.40	840	5	6.396	3	clay	0,00175
9	8.60	860	10	3.198	7	silty sand to sandy silt	0,00185
	8.80	880	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00185
	9.00	900	10	3.198	7	silty sand to sandy silt	0,00185
	9.20	920	5	6.396	3	clay	0,00175
	9.40	940	5	6.396	3	clay	0,00175
10	9.60	960	5	6.396	3	clay	0,00175
	9.80	980	2	9.594	3	clay	0,00175
	10.00	1000	2	9.594	3	clay	0,00175
	10.20	1020	2	9.594	3	clay	0,00068
	10.40	1040	2	9.594	3	clay	0,00068
11	10.60	1060	2	9.594	3	clay	0,00068
	10.80	1080	2	9.594	3	clay	0,00068
	11.00	1100	2	9.594	3	clay	0,00068
	11.20	1120	2	9.594	3	clay	0,00068
	11.40	1140	5	6.396	3	clay	0,00068
12	11.60	1160	10	6.396	11	very stiff fine grained	0,00089
	11.80	1180	10	3.198	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	12.00	1200	20	1.599	8	sand to silty sand	0,00080
	12.20	1220	20	3.198	6	sandy silt to clayey silt	0,00067
	12.40	1240	20	4.797	11	very stiff fine grained	0,00100
13	12.60	1260	35	0.914	9	sand	0,00089
	12.80	1280	45	0.711	10	garvelly sand to sand	0,00094
	13.00	1300	35	0.914	9	sand	0,00089
	13.20	1320	20	1.599	8	sand to silty sand	0,00080
	13.40	1340	20	1.599	8	sand to silty sand	0,00080
14	13.60	1360	20	3.198	6	sandy silt to clayey silt	0,00080
	13.80	1380	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	14.00	1400	10	3.198	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	14.20	1420	10	3.198	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	14.40	1440	10	3.198	7	silty sand to sandy silt	0,00080
15	14.60	1460	5	6.396	3	clay	0,00068
	14.80	1480	5	6.396	3	clay	0,00068
	15.00	1500	5	6.396	3	clay	0,00068
	15.20	1520	5	6.396	3	clay	0,00068
	15.40	1540	2	9.594	3	clay	0,00068
16	15.60	1560	2	9.594	3	clay	0,00068
	15.80	1580	2	9.594	3	clay	0,00068
	16.00	1600	10	3.198	7	silty sand to sandy silt	0,00080
17	16.20	1620	5	6.396	3	clay	0,00068
	16.40	1640	5	6.396	3	clay	0,00068

18	16.60	1660	15	4.264	11	very stiff fine grained	0,00100
	16.80	1680	25	2558	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	17.00	1700	40	0.800	10	garvelly sand to sand	0,00094
	17.20	1720	50	1.279	9	sand	0,00089
	17.40	1740	35	0.914	10	garvelly sand to sand	0,00094
	17.60	1760	30	4.264	11	very stiff fine grained	0,00080
	17.80	1780	25	1.279	8	sand to silty sand	0,00080
	18.00	1800	25	3.838	11	very stiff fine grained	0,00100
19	18.20	1820	15	4.264	11	very stiff fine grained	0,00100
	18.40	1840	15	4.264	11	very stiff fine grained	0,00100
	18.60	1860	5	6.396	3	clay	0,00068
	18.80	1880	5	6.396	3	clay	0,00068
	19.00	1900	10	3.198	7	silty sand to sandy silt	0,00080
20	19.20	1920	10	3.198	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	19.40	1940	15	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	19.60	1960	15	4.264	11	very stiff fine grained	0,00100
	19.80	1980	25	2558	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	20.00	2000	30	2.132	7	silty sand to sandy silt	0,00080
	20.20	2020	35	0.914	10	garvelly sand to sand	0,00094
21	20.40	2040	25	1.279	8	sand to silty sand	0,00080
	20.60	2060	20	4.797	11	very stiff fine grained	0,00100
	20.80	2080	25	2.558	7	silty sand to sandy silt	0,00080

Tabel 4.17

Perhitungan Tegangan Vertikal Efektif titik 3 di lokasi Lodooyo, Kabupaten Tulungagung.

Lapisan	depth m	depth cm	qc kg/cm ²	FR %	γ Kg/cm ³	σ_v Kg/cm ²	u Kg/cm ²	σ'_v Kg/cm ²	σ_v KN/m ²	σ'_v KN/m ²
1	0.00	0	0	0	0	0	0	0,00	0,0	0,0
	0.20	20	2	9.594	0,00175	0,035	0	0,04	3,4	3,4
	0.40	40	10	3.198	0,00185	0,07	0	0,07	7,1	7,1
	0.60	60	25	1.279	0,00195	0,11	0	0,11	10,9	10,9
	0.80	80	15	2.132	0,00185	0,15	0	0,15	14,5	14,5
	1.00	100	2	9.594	0,00175	0,18	0	0,18	17,9	17,9
2	1.20	120	2	9.594	0,00175	0,22	0	0,22	21,4	21,4
	1.40	140	2	9.594	0,00175	0,25	0	0,25	24,8	24,8
	1.60	160	2	9.594	0,00175	0,29	0	0,29	28,2	28,2
	1.80	180	2	9.594	0,00175	0,32	0	0,32	31,7	31,7
	2.00	200	2	9.594	0,00175	0,36	0	0,36	35,1	35,1
	2.20	220	2	9.594	0,00175	0,39	0	0,39	38,5	38,5
3	2.40	240	2	9.594	0,00175	0,43	0	0,43	42,0	42,0
	2.60	260	2	9.594	0,00175	0,46	0	0,46	45,4	45,4
	2.80	280	2	9.594	0,00175	0,50	0	0,50	48,8	48,8
	3.00	300	5	6.396	0,00175	0,53	0	0,53	52,3	52,3
	3.20	320	5	6.396	0,00175	0,57	0	0,57	55,7	55,7
	3.40	340	5	6.396	0,00175	0,60	0	0,60	59,1	59,1
4	3.60	360	2	9.594	0,00175	0,64	0	0,64	62,6	62,6
	3.80	380	2	9.594	0,00175	0,67	0	0,67	66,0	66,0
	4.00	400	2	9.594	0,00175	0,71	0	0,71	69,4	69,4
	4.20	420	2	9.594	0,00175	0,74	0	0,74	72,9	72,9
	4.40	440	2	9.594	0,00175	0,78	0	0,78	76,3	76,3
	4.60	460	2	9.594	0,00175	0,81	0	0,81	79,7	79,7
5	4.80	480	5	6.396	0,00175	0,85	0	0,85	83,2	83,2
	5.00	500	15	2.132	0,00185	0,89	0	0,89	86,8	86,8
	5.20	520	10	3.198	0,0018	0,92	0	0,92	90,3	90,3
	5.40	540	10	3.198	0,0018	0,96	0	0,96	93,8	93,8
	5.60	560	5	6.396	0,00175	0,99	0	0,99	97,3	97,3
	5.80	580	5	6.396	0,00175	1,03	0	1,03	100,7	100,7
6	6.00	600	15	2.132	0,00185	1,06	0	1,06	104,3	104,3
	6.20	620	10	3.198	0,00185	1,10	0	1,10	108,0	108,0
	6.40	640	5	6.396	0,00175	1,14	0	1,14	111,4	111,4
	6.60	660	5	6.396	0,00175	1,17	0	1,17	114,8	114,8
	6.80	680	5	6.396	0,00175	1,21	0	1,21	118,3	118,3
	7.00	700	15	4.264	0,0025	1,26	0	1,26	123,2	123,2
7	7.20	720	25	3.838	0,0019	1,29	0	1,29	126,9	126,9
	7.40	740	30	2.132	0,0019	1,33	0	1,33	130,6	130,6
	7.60	760	40	1.599	0,0019	1,37	0	1,37	134,3	134,3
	7.80	780	25	1.279	0,0019	1,41	0	1,41	138,1	138,1

	8.00	800	15	2.132	0,00185	1,45	0	1,45	141,7	141,7
	8.20	820	5	6.396	0,00175	1,48	0	1,48	145,1	145,1
	8.40	840	5	6.396	0,00175	1,52	0	1,52	148,6	148,6
9	8.60	860	10	3.198	0,00185	1,55	0	1,55	152,2	152,2
	8.80	880	15	2.132	0,00185	1,59	0	1,59	155,8	155,8
	9.00	900	10	3.198	0,00185	1,63	0	1,63	159,5	159,5
	9.20	920	5	6.396	0,00175	1,66	0	1,66	162,9	162,9
	9.40	940	5	6.396	0,00175	1,70	0	1,70	166,3	166,3
10	9.60	960	5	6.396	0,00175	1,73	0	1,73	169,8	169,8
	9.80	980	2	9.594	0,00175	1,77	0	1,77	173,2	173,2
	10.00	1000	2	9.594	0,00175	1,80	0	1,80	176,6	176,6
	10.20	1020	2	9.594	0,000683	1,81	0,020	1,80	178,0	176,0
	10.40	1040	2	9.594	0,000683	1,83	0,04	1,79	179,3	175,4
11	10.60	1060	2	9594	0,000683	1,84	0,06	1,78	180,6	174,9
	10.80	1080	2	9594	0,000683	1,86	0,08	1,78	182,0	174,3
	11.00	1100	2	9.594	0,000683	1,87	0,10	1,77	183,3	173,7
	11.20	1120	2	9.594	0,000683	1,88	0,12	1,77	184,6	173,1
	11.40	1140	5	6396	0,000683	1,90	0,14	1,76	186,0	172,5
12	11.60	1160	10	6.396	0,000888	1,91	0,16	1,76	187,7	172,3
	11.80	1180	10	3.198	0,0008	1,93	0,18	1,75	189,3	172,0
	12.00	1200	20	1.599	0,0008	1,95	0,20	1,75	190,9	171,6
	12.20	1220	20	3.198	0,000666	1,96	0,22	1,74	192,2	171,0
	12.40	1240	20	4.797	0,000999	1,98	0,24	1,74	194,1	171,0
13	12.60	1260	35	0.914	0,000888	2,00	0,26	1,74	195,9	170,9
	12.80	1280	45	0.711	0,000941	2,02	0,27	1,74	197,7	170,8
	13.00	1300	35	0.914	0,000888	2,03	0,29	1,74	199,5	170,6
	13.20	1320	20	1.599	0,0008	2,05	0,31	1,74	201,0	170,2
	13.40	1340	20	1.599	0,0008	2,07	0,33	1,73	202,6	169,9
14	13.60	1360	20	3.198	0,0008	2,08	0,35	1,73	204,2	169,5
	13.80	1380	15	2.132	0,0008	2,10	0,37	1,73	205,7	169,2
	14.00	1400	10	3.198	0,0008	2,11	0,39	1,72	207,3	168,8
	14.20	1420	10	3.198	0,0008	2,13	0,41	1,72	208,9	168,5
	14.40	1440	10	3.198	0,0008	2,15	0,43	1,71	210,4	168,1
15	14.60	1460	5	6396	0,000683	2,16	0,45	1,71	211,8	167,5
	14.80	1480	5	6396	0,000683	2,17	0,47	1,70	213,1	166,9
	15.00	1500	5	6.396	0,000683	2,19	0,49	1,70	214,5	166,4
	15.20	1520	5	6.396	0,000683	2,20	0,51	1,69	215,8	165,8
	15.40	1540	2	9.594	0,000683	2,21	0,53	1,68	217,1	165,2
16	15.60	1560	2	9.594	0,000683	2,23	0,55	1,68	218,5	164,6
	15.80	1580	2	9.594	0,000683	2,24	0,57	1,67	219,8	164,0
	16.00	1600	10	3.198	0,0008	2,26	0,59	1,67	221,4	163,7
17	16.20	1620	5	6.396	0,000683	2,27	0,61	1,66	222,7	163,1
	16.40	1640	5	6.396	0,000683	2,28	0,63	1,66	224,1	162,5

18	16.60	1660	15	4.264	0,000999	2,30	0,65	1,66	226,0	162,5
	16.80	1680	25	2558	0,0008	2,32	0,67	1,65	227,6	162,2
	17.00	1700	40	0.800	0,000941	2,34	0,69	1,65	229,4	162,1
	17.20	1720	50	1.279	0,000888	2,36	0,71	1,65	231,2	161,9
	17.40	1740	35	0.914	0,000941	2,38	0,73	1,65	233,0	161,8
	17.60	1760	30	4.264	0,0008	2,39	0,75	1,65	234,6	161,5
	17.80	1780	25	1.279	0,0008	2,41	0,77	1,64	236,2	161,1
	18.00	1800	25	3.838	0,000999	2,43	0,78	1,64	238,1	161,2
	18.20	1820	15	4.264	0,000999	2,45	0,80	1,64	240,1	161,2
	18.40	1840	15	4.264	0,000999	2,47	0,82	1,64	242,0	161,2
19	18.60	1860	5	6.396	0,000683	2,48	0,84	1,64	243,4	160,6
	18.80	1880	5	6.396	0,000683	2,50	0,86	1,63	244,7	160,1
	19.00	1900	10	3.198	0,0008	2,51	0,88	1,63	246,3	159,7
	19.20	1920	10	3.198	0,0008	2,53	0,90	1,62	247,8	159,3
	19.40	1940	15	2.132	0,0008	2,54	0,92	1,62	249,4	159,0
20	19.60	1960	15	4.264	0,000999	2,56	0,94	1,62	251,4	159,0
	19.80	1980	25	2558	0,0008	2,58	0,96	1,62	252,9	158,7
	20.00	2000	30	2.132	0,0008	2,60	0,98	1,61	254,5	158,3
	20.20	2020	35	0.914	0,000941	2,61	1,00	1,61	256,4	158,2
	20.40	2040	25	1.279	0,0008	2,63	1,02	1,61	257,9	157,9
21	20.60	2060	20	4.797	0,000999	2,65	1,04	1,61	259,9	157,9
	20.80	2080	25	2.558	0,0008	2,67	1,06	1,61	261,5	157,6

4.2.2 Peak Ground Acceleration (PGA)

Perhitungan untuk mencari PGA berdasarkan data gempa bumi yang terjadi di Kabupaten Tulungagung dan menggunakan rumus empiris *Matuscha* (1980) yang sesuai dengan hasil perhitungan validasi.

Tabel 4.18

Data Gempa Bumi yang Terjadi di Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur

no	date	Data Gempa				
		koordinat		Magnitude	Depth	Epicenter
		Lat	Long	(SR)	(Km)	(Km)
1	16/07/2013	9,39	112	5	17	140
2	15/10/2015	10,63	112,17	3,5	10	116
3	18/09/2016	8,86	112,4	4,6	45	77
4	08/02/2017	8,52	113,11	4,9	126	126
5	27/04/2017	8,76	112,49	4,8	45	89
6	29/04/2017	9,55	111,82	5,5	10	162

Tabel 4.19

Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) berdasarkan rumus empiris *Matuscha* (1980)

no	date	Data Gempa						R (km)	PGA (gal)
		koordinat		Magnitude	Depth	Epicenter			
		Lat	Long	(SR)	(Km)	(Km)			
1	16/07/2013	9,39	112	5	17	140		141,028	19,109
2	15/10/2015	10,63	112,17	3,5	10	116		116,430	6,818
3	18/09/2016	8,86	112,4	4,6	45	77		89,185	21,256
4	08/02/2017	8,52	113,11	4,9	126	126		178,191	13,969
5	27/04/2017	8,76	112,49	4,8	45	89		99,730	22,580
6	29/04/2017	9,55	111,82	5,5	10	162		162,308	24,940

Maka nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) yang didapat dari rumus empiris *Matuscha* (1980) adalah 24,940 gal.

Perhitungan CSR didalam perhitungan potensi likuifaksi dengan magnitude 5,5 SR, maka nilai CSR perlu dikorelasikan sebagai berikut :

Tabel 4.20

Faktor Koreksi Magnitude untuk Pendekatan dengan Magnitude 5,5 SR

Magnitude Gempa	$CSR_M/CSR_{M=7.5}$
5,25	1,5
6	1,32
6.75	1.13
7.5	1.00
8.5	0.89
5,5	1,57



Tabel 4.21 Hasil Perhitungan FS berdasarkan data CPT di titik 1 Daerah Lodoyo, Kabupaten Tulungagung

Depth (m)	qc (KN/m ²)	σ_v (KN/m ²)	σ'_v (KN/m ²)	rd	CSR	Q	F	Ic	Cq	qc1N	Kc	(qc1N) _{cs}	CRR	Fs	potensi likuifaksi
0,2	980,65	3,63	3,63	1,00	0,0259	51,80	0,060	2,41	5,20	51,99	2,34	121,6	0,093	7,94	Tidak
0,4	1470,98	7,26	7,26	1,00	0,0259	54,87	0,040	2,48	3,68	55,14	2,68	147,9	0,096	8,17	Tidak
0,6	1961,30	10,98	10,98	1,00	0,0258	59,43	0,030	2,53	2,99	59,76	2,93	175,3	0,100	8,54	Tidak
0,8	980,65	15,89	15,89	0,99	0,0258	24,44	0,061	2,65	2,48	24,85	3,66	90,8	0,071	6,06	Tidak
1	1470,98	19,51	19,51	0,99	0,0258	33,18	0,041	2,64	2,24	33,63	3,57	119,9	0,078	6,69	Tidak
1,2	1470,98	23,14	23,14	0,99	0,0257	30,39	0,041	2,67	2,06	30,88	3,75	115,8	0,076	6,51	Tidak
1,4	1470,98	26,77	26,77	0,99	0,0257	28,19	0,041	2,69	1,91	28,71	3,92	112,5	0,074	6,36	Tidak
1,6	980,65	30,30	30,30	0,99	0,0256	17,43	0,062	2,77	1,80	17,99	4,50	80,9	0,065	5,60	Tidak
1,8	980,65	33,83	33,83	0,99	0,0256	16,44	0,062	2,79	1,70	17,03	4,66	79,3	0,064	5,54	Tidak
2	980,65	37,36	37,36	0,98	0,0256	15,58	0,062	2,80	1,62	16,20	4,81	78,0	0,063	5,49	Tidak
2,2	980,65	40,89	40,89	0,98	0,0255	14,84	0,063	2,82	1,55	15,49	4,96	76,7	0,063	5,45	Tidak
2,4	490,33	44,33	44,33	0,98	0,0255	6,76	0,132	2,99	1,49	7,44	6,67	49,6	0,056	4,88	Tidak
2,6	490,33	47,76	47,76	0,98	0,0255	6,47	0,133	3,01	1,43	7,16	6,86	49,1	0,056	4,86	Tidak
2,8	490,33	51,19	51,19	0,98	0,0254	6,20	0,134	3,03	1,38	6,92	7,03	48,7	0,056	4,85	Tidak
3	980,65	54,72	54,72	0,98	0,0254	12,64	0,064	2,87	1,34	13,39	5,45	73,0	0,061	5,33	Tidak

3,2	1470,98	58,35	58,35	0,98	0,0253	18,67	0,042	2,82	1,30	19,45	4,97	96,6	0,066	5,78	Tidak
3,4	1961,30	62,08	62,08	0,97	0,0253	24,34	0,031	2,80	1,26	25,14	4,78	120,2	0,071	6,20	Tidak
3,6	1961,30	65,80	65,80	0,97	0,0253	23,60	0,031	2,81	1,22	24,42	4,86	118,8	0,070	6,16	Tidak
3,8	1961,30	69,53	69,53	0,97	0,0252	22,91	0,031	2,82	1,19	23,75	4,94	117,4	0,070	6,12	Tidak
4	1470,98	73,06	73,06	0,97	0,0252	16,52	0,042	2,86	1,16	17,38	5,33	92,6	0,064	5,66	Tidak
4,2	1470,98	76,69	76,69	0,97	0,0251	16,08	0,042	2,87	1,13	16,96	5,41	91,7	0,064	5,64	Tidak
4,4	196,13	80,12	80,12	0,97	0,0251	1,31	0,507	3,54	1,11	2,21	14,88	32,9	0,052	4,57	Tidak
4,6	196,13	83,55	83,55	0,96	0,0251	1,24	0,523	3,56	1,08	2,17	15,26	33,1	0,052	4,57	Tidak
4,8	490,33	86,98	86,98	0,96	0,0250	4,37	0,146	3,15	1,06	5,31	8,58	45,5	0,054	4,81	Tidak
5	490,33	90,42	90,42	0,96	0,0250	4,25	0,147	3,16	1,04	5,21	8,71	45,4	0,054	4,81	Tidak
5,2	1470,98	94,04	94,04	0,96	0,0249	14,34	0,043	2,91	1,02	15,32	5,76	88,2	0,063	5,57	Tidak
5,4	1961,30	97,77	97,77	0,96	0,0249	19,03	0,032	2,88	1,00	20,03	5,47	109,5	0,067	5,92	Tidak
5,6	2451,63	101,60	101,60	0,96	0,0249	23,54	0,025	2,86	0,98	24,56	5,33	130,9	0,070	6,27	Tidak
5,8	1961,30	105,22	105,22	0,96	0,0248	18,27	0,032	2,89	0,97	19,31	5,59	107,9	0,066	5,89	Tidak
6	3922,60	109,05	109,05	0,95	0,0248	36,88	0,015	2,85	0,95	37,93	5,23	198,3	0,082	7,28	Tidak
6,2	1961,30	112,77	112,77	0,95	0,0247	17,58	0,032	2,90	0,93	18,65	5,70	106,3	0,066	5,86	Tidak

6,4	2941,95	116,60	116,60	0,95	0,0247	26,42	0,021	2,87	0,92	27,51	5,42	149,1	0,073	6,53	Tidak
6,6	1470,98	120,23	120,23	0,95	0,0247	12,44	0,044	2,95	0,90	13,55	6,22	84,3	0,061	5,50	Tidak
6,8	1961,30	123,95	123,95	0,95	0,0246	16,66	0,032	2,92	0,89	17,79	5,87	104,3	0,065	5,82	Tidak
7	1961,30	127,68	127,68	0,95	0,0246	16,39	0,032	2,92	0,88	17,53	5,92	103,7	0,065	5,81	Tidak
7,2	1470,98	131,31	131,31	0,94	0,0245	11,81	0,044	2,97	0,86	12,96	6,40	83,0	0,061	5,48	Tidak
7,4	490,33	134,74	134,74	0,94	0,0245	3,09	0,165	3,27	0,85	4,27	10,30	43,9	0,054	4,83	Tidak
7,6	490,33	138,17	138,17	0,94	0,0245	3,03	0,167	3,28	0,84	4,21	10,41	43,9	0,054	4,84	Tidak
7,8	980,65	143,08	143,08	0,94	0,0244	7,07	0,070	3,07	0,83	8,28	7,54	62,4	0,057	5,15	Tidak
8	4903,25	146,90	146,90	0,94	0,0244	39,63	0,012	2,89	0,82	40,85	5,62	229,6	0,084	7,62	Tidak
8,2	2451,63	150,53	150,53	0,94	0,0243	18,94	0,026	2,93	0,81	20,18	5,96	120,3	0,067	6,07	Tidak
8,4	1961,30	154,26	154,26	0,94	0,0243	14,69	0,033	2,96	0,80	15,95	6,26	99,9	0,063	5,76	Tidak
8,6	1961,30	157,98	157,98	0,93	0,0243	14,49	0,033	2,96	0,79	15,76	6,31	99,4	0,063	5,75	Tidak
8,8	1961,30	161,71	161,71	0,93	0,0242	14,29	0,033	2,96	0,78	15,57	6,35	98,9	0,063	5,75	Tidak
9	2941,95	165,44	165,44	0,93	0,0242	21,80	0,021	2,93	0,77	23,10	5,96	137,8	0,069	6,33	Tidak
9,2	1961,30	169,06	169,06	0,93	0,0241	13,92	0,033	2,97	0,76	15,23	6,44	98,1	0,063	5,75	Tidak
9,4	2451,63	172,89	172,89	0,92	0,0240	17,50	0,026	2,95	0,75	18,83	6,20	116,8	0,066	6,06	Tidak

9,6	2941,95	176,71	176,71	0,92	0,0238	21,01	0,021	2,94	0,74	22,35	6,07	135,7	0,069	6,37	Tidak
9,8	2451,63	180,54	180,54	0,91	0,0237	17,07	0,026	2,96	0,74	18,43	6,28	115,7	0,065	6,10	Tidak
10	3922,60	184,36	184,36	0,91	0,0236	27,80	0,016	2,93	0,73	29,17	5,98	174,5	0,074	6,98	Tidak
10,2	2941,95	186,10	184,18	0,90	0,0237	20,51	0,021	2,94	0,73	21,89	6,14	134,5	0,068	6,38	Tidak
10,4	490,33	187,67	183,82	0,90	0,0238	2,25	0,194	3,38	0,73	3,65	12,04	44,0	0,053	4,94	Tidak
10,6	3922,60	189,52	183,75	0,89	0,0239	27,81	0,016	2,93	0,73	29,22	5,98	174,6	0,074	6,89	Tidak
10,8	3432,28	191,26	183,56	0,89	0,0240	24,16	0,018	2,93	0,73	25,58	6,04	154,4	0,071	6,58	Tidak
11	3922,60	192,95	183,33	0,88	0,0241	27,82	0,016	2,93	0,73	29,25	5,97	174,7	0,074	6,84	Tidak
11,2	5883,90	194,80	183,26	0,87	0,0242	42,44	0,010	2,92	0,73	43,89	5,95	261,0	0,087	7,93	Tidak
11,4	7845,20	196,64	183,18	0,87	0,0242	57,07	0,008	2,94	0,73	58,53	6,07	355,2	0,099	9,01	Tidak
11,6	4903,25	198,39	182,99	0,86	0,0243	35,12	0,013	2,92	0,73	36,60	5,93	217,0	0,080	7,32	Tidak
11,8	1961,30	199,96	182,64	0,86	0,0244	13,16	0,033	2,99	0,73	14,66	6,61	96,8	0,062	5,63	Tidak
12	1470,98	201,52	182,28	0,85	0,0245	9,49	0,046	3,04	0,73	11,00	7,14	78,6	0,059	5,34	Tidak
12,2	490,33	202,86	181,70	0,85	0,0246	2,15	0,205	3,40	0,73	3,67	12,27	45,1	0,053	4,77	Tidak
12,4	490,33	204,20	181,11	0,84	0,0247	2,15	0,206	3,40	0,74	3,68	12,28	45,2	0,053	4,76	Tidak
12,6	490,33	205,54	180,53	0,84	0,0248	2,14	0,207	3,40	0,74	3,69	12,29	45,3	0,053	4,74	Tidak

12,8	980,65	207,11	180,17	0,83	0,0248	5,82	0,076	3,13	0,74	7,38	8,29	61,2	0,056	5,00	Tidak
13	1961,30	208,68	179,82	0,83	0,0249	13,20	0,034	2,99	0,74	14,77	6,58	97,2	0,062	5,53	Tidak
13,2	2941,95	210,24	179,46	0,82	0,0250	20,59	0,022	2,94	0,74	22,18	6,11	135,4	0,068	6,06	Tidak
13,4	1470,98	211,81	179,10	0,82	0,0251	9,50	0,047	3,03	0,74	11,10	7,12	79,1	0,059	5,23	Tidak
13,6	1470,98	213,38	178,75	0,81	0,0251	9,50	0,047	3,03	0,74	11,11	7,12	79,1	0,059	5,21	Tidak
13,8	980,65	214,95	178,39	0,81	0,0252	5,79	0,077	3,13	0,74	7,41	8,30	61,5	0,056	4,93	Tidak
14	1470,98	216,52	178,04	0,80	0,0253	9,49	0,047	3,03	0,74	11,13	7,12	79,2	0,059	5,19	Tidak
14,2	1961,30	218,08	177,68	0,79	0,0253	13,21	0,034	2,98	0,74	14,86	6,57	97,6	0,062	5,44	Tidak
14,4	3922,60	219,83	177,50	0,79	0,0254	28,07	0,016	2,92	0,74	29,73	5,93	176,2	0,075	6,51	Tidak
14,6	4412,93	221,39	177,14	0,78	0,0255	31,80	0,014	2,92	0,74	33,48	5,89	197,3	0,078	6,77	Tidak
14,8	3432,28	223,14	176,96	0,78	0,0255	24,36	0,018	2,93	0,74	26,05	5,98	155,9	0,072	6,22	Tidak
15	4412,93	224,71	176,60	0,77	0,0256	31,83	0,014	2,92	0,75	33,53	5,89	197,4	0,078	6,74	Tidak
15,2	3922,60	226,45	176,42	0,77	0,0256	28,10	0,016	2,92	0,75	29,82	5,92	176,5	0,075	6,46	Tidak
15,4	4412,93	228,02	176,07	0,76	0,0257	31,85	0,014	2,92	0,75	33,58	5,88	197,6	0,078	6,72	Tidak
15,6	2451,63	229,76	175,88	0,76	0,0257	16,92	0,026	2,96	0,75	18,67	6,26	116,8	0,066	5,64	Tidak
15,8	1961,30	231,33	175,53	0,75	0,0257	13,19	0,034	2,98	0,75	14,95	6,56	98,0	0,062	5,37	Tidak

16	1470,98	232,89	175,17	0,75	0,0258	9,45	0,048	3,03	0,75	11,22	7,11	79,8	0,059	5,09	Tidak
16,2	980,65	234,59	174,94	0,74	0,0258	5,70	0,079	3,13	0,75	7,49	8,33	62,3	0,056	4,82	Tidak
16,4	980,65	236,28	174,72	0,74	0,0259	5,69	0,079	3,13	0,75	7,49	8,33	62,4	0,056	4,81	Tidak
16,6	1961,30	237,85	174,36	0,73	0,0259	13,18	0,034	2,98	0,75	15,00	6,55	98,2	0,062	5,34	Tidak
16,8	4412,93	239,70	174,28	0,73	0,0259	31,92	0,014	2,92	0,75	33,76	5,87	198,1	0,078	6,67	Tidak
17	1961,30	241,27	173,92	0,72	0,0259	13,17	0,034	2,98	0,75	15,02	6,55	98,3	0,063	5,33	Tidak
17,2	1961,30	242,83	173,57	0,71	0,0260	13,17	0,034	2,98	0,75	15,03	6,54	98,4	0,063	5,32	Tidak
17,4	2451,63	244,58	173,39	0,71	0,0260	16,93	0,027	2,95	0,75	18,80	6,24	117,3	0,066	5,59	Tidak
17,6	1470,98	246,14	173,03	0,70	0,0260	9,40	0,048	3,03	0,75	11,29	7,11	80,2	0,059	5,05	Tidak
17,8	1470,98	247,71	172,67	0,70	0,0260	9,40	0,048	3,03	0,75	11,30	7,10	80,3	0,059	5,05	Tidak
18	1961,30	249,28	172,32	0,69	0,0260	13,17	0,034	2,98	0,75	15,09	6,54	98,6	0,063	5,31	Tidak
18,2	2941,95	251,02	172,14	0,69	0,0261	20,71	0,022	2,94	0,75	22,64	6,05	137,0	0,069	5,84	Tidak
18,4	2451,63	252,76	171,96	0,68	0,0261	16,93	0,027	2,95	0,76	18,88	6,23	117,6	0,066	5,58	Tidak
18,6	2451,63	254,51	171,77	0,68	0,0261	16,93	0,027	2,95	0,76	18,89	6,23	117,6	0,066	5,58	Tidak
18,8	3922,60	256,25	171,59	0,67	0,0261	28,26	0,016	2,92	0,76	30,24	5,88	177,8	0,075	6,38	Tidak
19	1961,30	257,82	171,24	0,67	0,0261	13,15	0,035	2,98	0,76	15,14	6,53	98,9	0,063	5,31	Tidak

19,2	2451,63	259,56	171,05	0,66	0,0261	16,93	0,027	2,95	0,76	18,93	6,22	117,8	0,066	5,58	Tidak
19,4	2451,63	261,13	170,70	0,66	0,0261	16,93	0,027	2,95	0,76	18,95	6,22	117,9	0,066	5,58	Tidak
19,6	3922,60	262,87	170,52	0,65	0,0260	28,30	0,016	2,92	0,76	30,33	5,87	178,1	0,075	6,39	Tidak
19,8	3432,28	264,61	170,33	0,65	0,0260	24,51	0,019	2,92	0,76	26,56	5,93	157,5	0,072	6,13	Tidak
20	2451,63	266,35	170,15	0,64	0,0260	16,92	0,027	2,95	0,76	18,98	6,22	118,0	0,066	5,59	Tidak
20,2	1470,98	267,92	169,80	0,63	0,0260	9,32	0,049	3,03	0,76	11,40	7,10	81,0	0,059	5,06	Tidak
20,4	1470,98	269,88	169,83	0,63	0,0260	9,31	0,049	3,03	0,76	11,40	7,10	81,0	0,059	5,07	Tidak
20,6	1961,30	271,63	169,65	0,62	0,0259	13,10	0,035	2,98	0,76	15,21	6,53	99,2	0,063	5,34	Tidak
20,8	2941,95	273,19	169,30	0,62	0,0259	20,71	0,022	2,93	0,76	22,83	6,03	137,7	0,069	5,89	Tidak

Tabel 4.22 Hasil Perhitungan FS berdasarkan data CPT di titik 3 Daerah Lodoyo, Kabupaten Tulungagung

Depth (m)	qc (KN/m ²)	σ_v (KN/m ²)	σ'_v (KN/m ²)	rd	CSR	Q	F	Ic	Cq	qc1N	Kc	(qc1N) _{cs}	CRR	Fs	potensi likuifaksi
0,2	196,13	3,43	3,43	1,00	0,026	10,50	0,305	2,74	5,35	10,69	4,26	45,5	0,059	5,02	Tidak
0,4	980,65	7,06	7,06	1,00	0,026	37,00	0,060	2,51	3,73	37,27	2,84	105,9	0,081	6,92	Tidak
0,6	2451,63	10,89	10,89	1,00	0,026	74,70	0,024	2,53	3,00	75,04	2,91	218,3	0,119	10,21	Tidak
0,8	1470,98	14,51	14,51	0,99	0,026	38,61	0,040	2,59	2,60	38,99	3,27	127,4	0,082	7,07	Tidak
1	196,13	17,95	17,95	0,99	0,026	4,25	0,330	3,09	2,34	4,68	7,76	36,3	0,054	4,63	Tidak
1,2	196,13	21,38	21,38	0,99	0,026	3,82	0,337	3,13	2,14	4,28	8,29	35,5	0,054	4,60	Tidak
1,4	196,13	24,81	24,81	0,99	0,026	3,47	0,343	3,16	1,99	3,98	8,77	34,9	0,053	4,59	Tidak
1,6	196,13	28,24	28,24	0,99	0,026	3,19	0,350	3,20	1,86	3,73	9,22	34,4	0,053	4,58	Tidak
1,8	196,13	31,67	31,67	0,99	0,026	2,95	0,358	3,23	1,76	3,52	9,64	33,9	0,053	4,57	Tidak
2	196,13	35,11	35,11	0,98	0,026	2,74	0,365	3,26	1,67	3,34	10,05	33,6	0,053	4,57	Tidak
2,2	196,13	38,54	38,54	0,98	0,026	2,56	0,373	3,28	1,60	3,19	10,45	33,3	0,053	4,56	Tidak
2,4	196,13	41,97	41,97	0,98	0,025	2,40	0,382	3,31	1,53	3,06	10,83	33,1	0,053	4,56	Tidak
2,6	196,13	45,40	45,40	0,98	0,025	2,26	0,390	3,33	1,47	2,94	11,20	32,9	0,052	4,56	Tidak
2,8	196,13	48,84	48,84	0,98	0,025	2,13	0,399	3,35	1,42	2,83	11,57	32,8	0,052	4,56	Tidak

3	490,33	52,27	52,27	0,98	0,025	6,12	0,134	3,03	1,37	6,85	7,08	48,5	0,056	4,86	Tidak
3,2	490,33	55,70	55,70	0,98	0,025	5,88	0,135	3,04	1,33	6,63	7,25	48,1	0,056	4,85	Tidak
3,4	490,33	59,13	59,13	0,97	0,025	5,66	0,136	3,06	1,29	6,44	7,41	47,7	0,055	4,84	Tidak
3,6	196,13	62,57	62,57	0,97	0,025	1,71	0,441	3,44	1,25	2,50	13,01	32,6	0,052	4,56	Tidak
3,8	196,13	66,00	66,00	0,97	0,025	1,62	0,452	3,46	1,22	2,44	13,37	32,6	0,052	4,56	Tidak
4	196,13	69,43	69,43	0,97	0,025	1,54	0,464	3,48	1,19	2,38	13,73	32,6	0,052	4,57	Tidak
4,2	196,13	72,86	72,86	0,97	0,025	1,46	0,477	3,50	1,16	2,32	14,10	32,7	0,052	4,57	Tidak
4,4	196,13	76,29	76,29	0,97	0,025	1,39	0,491	3,52	1,13	2,27	14,47	32,8	0,052	4,57	Tidak
4,6	196,13	79,73	79,73	0,96	0,025	1,32	0,505	3,54	1,11	2,22	14,84	32,9	0,052	4,58	Tidak
4,8	490,33	83,16	83,16	0,96	0,025	4,51	0,145	3,14	1,09	5,43	8,43	45,8	0,055	4,82	Tidak
5	1470,98	86,79	86,79	0,96	0,025	15,00	0,043	2,89	1,06	15,94	5,62	89,6	0,063	5,60	Tidak
5,2	980,65	90,32	90,32	0,96	0,025	9,46	0,066	2,97	1,04	10,42	6,44	67,1	0,059	5,20	Tidak
5,4	980,65	93,85	93,85	0,96	0,025	9,24	0,066	2,98	1,02	10,22	6,52	66,7	0,059	5,20	Tidak
5,6	490,33	97,28	97,28	0,96	0,025	4,02	0,150	3,18	1,00	5,02	8,97	45,0	0,054	4,82	Tidak
5,8	490,33	100,71	100,71	0,96	0,025	3,92	0,151	3,19	0,99	4,93	9,10	44,9	0,054	4,82	Tidak
6	1470,98	104,34	104,34	0,95	0,025	13,51	0,043	2,93	0,97	14,54	5,95	86,6	0,062	5,54	Tidak

6,2	980,65	107,97	107,97	0,95	0,025	8,48	0,067	3,01	0,95	9,53	6,84	65,2	0,058	5,18	Tidak
6,4	490,33	111,40	111,40	0,95	0,025	3,63	0,155	3,22	0,94	4,69	9,48	44,5	0,054	4,83	Tidak
6,6	490,33	114,83	114,83	0,95	0,025	3,54	0,157	3,23	0,92	4,62	9,60	44,4	0,054	4,83	Tidak
6,8	490,33	118,27	118,27	0,95	0,025	3,45	0,158	3,23	0,91	4,55	9,72	44,3	0,054	4,83	Tidak
7	1470,98	123,17	123,17	0,95	0,025	12,26	0,044	2,96	0,89	13,38	6,27	83,9	0,061	5,50	Tidak
7,2	2451,63	126,90	126,90	0,94	0,025	20,84	0,025	2,90	0,88	21,98	5,68	124,7	0,068	6,16	Tidak
7,4	2941,95	130,62	130,62	0,94	0,024	24,84	0,021	2,89	0,87	25,99	5,59	145,3	0,072	6,47	Tidak
7,6	3922,60	134,35	134,35	0,94	0,024	33,00	0,016	2,88	0,85	34,17	5,51	188,4	0,078	7,09	Tidak
7,8	2451,63	138,08	138,08	0,94	0,024	19,88	0,025	2,91	0,84	21,07	5,81	122,5	0,068	6,12	Tidak
8	1470,98	141,70	141,70	0,94	0,024	11,28	0,044	2,98	0,83	12,48	6,56	81,8	0,060	5,48	Tidak
8,2	490,33	145,14	145,14	0,94	0,024	2,89	0,170	3,30	0,82	4,11	10,65	43,8	0,053	4,85	Tidak
8,4	490,33	148,57	148,57	0,94	0,024	2,83	0,172	3,30	0,81	4,06	10,77	43,7	0,053	4,86	Tidak
8,6	980,65	152,20	152,20	0,93	0,024	6,78	0,071	3,08	0,80	8,03	7,71	61,9	0,057	5,17	Tidak
8,8	1470,98	155,83	155,83	0,93	0,024	10,64	0,045	3,00	0,79	11,90	6,76	80,5	0,060	5,47	Tidak
9	980,65	159,45	159,45	0,93	0,024	6,57	0,072	3,09	0,78	7,84	7,84	61,5	0,057	5,17	Tidak
9,2	490,33	162,89	162,89	0,93	0,024	2,59	0,180	3,33	0,78	3,88	11,25	43,7	0,053	4,88	Tidak

9,4	490,33	166,32	166,32	0,92	0,024	2,54	0,182	3,34	0,77	3,84	11,37	43,7	0,053	4,91	Tidak
9,6	490,33	169,75	169,75	0,92	0,024	2,48	0,184	3,35	0,76	3,80	11,49	43,7	0,053	4,93	Tidak
9,8	196,13	173,18	173,18	0,91	0,024	0,18	2,564	4,39	0,75	1,50	35,79	53,9	0,051	4,78	Tidak
10	196,13	176,62	176,62	0,91	0,024	0,15	3,015	4,46	0,75	1,49	38,19	56,9	0,051	4,81	Tidak
10,2	196,13	177,95	176,03	0,90	0,024	0,14	3,237	4,50	0,75	1,49	39,20	58,5	0,051	4,79	Tidak
10,4	196,13	179,29	175,44	0,90	0,024	0,13	3,495	4,53	0,75	1,50	40,30	60,3	0,051	4,76	Tidak
10,6	196,13	180,63	174,86	0,89	0,024	0,12	3,796	4,57	0,75	1,50	41,52	62,2	0,051	4,74	Tidak
10,8	196,13	181,97	174,27	0,89	0,024	0,11	4,155	4,61	0,75	1,50	42,87	64,3	0,051	4,72	Tidak
11	196,13	183,31	173,69	0,88	0,024	0,10	4,589	4,66	0,75	1,50	44,39	66,7	0,051	4,70	Tidak
11,2	196,13	184,65	173,10	0,87	0,024	0,09	5,124	4,71	0,75	1,51	46,10	69,4	0,051	4,68	Tidak
11,4	490,33	185,99	172,52	0,87	0,024	2,34	0,193	3,37	0,75	3,77	11,80	44,5	0,053	4,83	Tidak
11,6	980,65	187,73	172,34	0,86	0,024	6,10	0,074	3,12	0,75	7,54	8,12	61,2	0,056	5,09	Tidak
11,8	980,65	189,30	171,98	0,86	0,025	6,09	0,074	3,12	0,76	7,55	8,12	61,3	0,056	5,07	Tidak
12	1961,30	190,87	171,62	0,85	0,025	13,65	0,033	2,98	0,76	15,12	6,48	98,0	0,063	5,62	Tidak
12,2	1961,30	192,17	171,01	0,85	0,025	13,66	0,033	2,98	0,76	15,15	6,48	98,1	0,063	5,59	Tidak
12,4	1961,30	194,13	171,04	0,84	0,025	13,64	0,033	2,98	0,76	15,14	6,48	98,1	0,063	5,57	Tidak

12,6	3432,28	195,87	170,86	0,84	0,025	25,00	0,018	2,92	0,76	26,52	5,92	157,1	0,072	6,39	Tidak
12,8	4412,93	197,72	170,78	0,83	0,025	32,57	0,014	2,91	0,76	34,10	5,84	199,1	0,078	6,93	Tidak
13	3432,28	199,46	170,60	0,83	0,025	24,99	0,018	2,92	0,76	26,54	5,92	157,2	0,072	6,35	Tidak
13,2	1961,30	201,03	170,25	0,82	0,025	13,62	0,033	2,98	0,76	15,18	6,48	98,3	0,063	5,50	Tidak
13,4	1961,30	202,60	169,89	0,82	0,025	13,63	0,033	2,98	0,76	15,20	6,47	98,4	0,063	5,48	Tidak
13,6	1961,30	204,17	169,53	0,81	0,025	13,63	0,033	2,98	0,76	15,21	6,47	98,4	0,063	5,47	Tidak
13,8	1470,98	205,73	169,18	0,81	0,025	9,82	0,047	3,02	0,76	11,42	7,00	79,9	0,060	5,17	Tidak
14	980,65	207,30	168,82	0,80	0,026	6,01	0,076	3,12	0,76	7,62	8,14	62,0	0,056	4,88	Tidak
14,2	980,65	208,87	168,47	0,79	0,026	6,00	0,076	3,12	0,76	7,63	8,14	62,1	0,056	4,87	Tidak
14,4	980,65	210,44	168,11	0,79	0,026	6,00	0,076	3,12	0,76	7,64	8,14	62,2	0,056	4,86	Tidak
14,6	490,33	211,78	167,52	0,78	0,026	2,17	0,211	3,39	0,77	3,83	12,16	46,5	0,053	4,57	Tidak
14,8	490,33	213,12	166,94	0,78	0,026	2,17	0,212	3,39	0,77	3,83	12,17	46,6	0,053	4,56	Tidak
15	490,33	214,45	166,35	0,77	0,026	2,16	0,213	3,39	0,77	3,84	12,19	46,8	0,053	4,54	Tidak
15,2	490,33	215,79	165,77	0,77	0,026	2,15	0,214	3,39	0,77	3,85	12,20	46,9	0,053	4,53	Tidak
15,4	196,13	217,13	165,18	0,76	0,026	0,17	2,802	4,42	0,77	1,54	36,72	56,6	0,051	4,36	Tidak
15,6	196,13	218,47	164,60	0,76	0,026	0,18	2,634	4,39	0,77	1,54	35,84	55,3	0,051	4,34	Tidak

15,8	196,13	219,81	164,01	0,75	0,026	0,19	2,485	4,36	0,77	1,55	35,01	54,2	0,051	4,33	Tidak
16	980,65	221,38	163,66	0,75	0,026	5,99	0,077	3,11	0,77	7,74	8,11	62,8	0,056	4,76	Tidak
16,2	490,33	222,72	163,07	0,74	0,026	2,12	0,220	3,40	0,78	3,88	12,28	47,6	0,053	4,48	Tidak
16,4	490,33	224,06	162,49	0,74	0,026	2,11	0,221	3,40	0,78	3,88	12,29	47,8	0,053	4,47	Tidak
16,6	1470,98	226,02	162,52	0,73	0,026	9,86	0,047	3,02	0,78	11,65	6,95	80,9	0,060	5,00	Tidak
16,8	2451,63	227,58	162,17	0,73	0,026	17,64	0,026	2,94	0,78	19,44	6,12	118,9	0,066	5,54	Tidak
17	3922,60	229,43	162,09	0,72	0,026	29,29	0,016	2,91	0,78	31,11	5,79	180,2	0,076	6,34	Tidak
17,2	4903,25	231,17	161,91	0,71	0,027	37,08	0,013	2,91	0,78	38,91	5,75	223,9	0,082	6,88	Tidak
17,4	3432,28	233,02	161,83	0,71	0,027	25,40	0,018	2,91	0,78	27,25	5,85	159,3	0,073	6,06	Tidak
17,6	2941,95	234,58	161,47	0,70	0,027	21,52	0,022	2,92	0,78	23,38	5,94	138,9	0,069	5,78	Tidak
17,8	2451,63	236,15	161,11	0,70	0,027	17,63	0,027	2,94	0,78	19,50	6,11	119,2	0,066	5,51	Tidak
18	2451,63	238,11	161,15	0,69	0,027	17,61	0,027	2,94	0,78	19,50	6,11	119,2	0,066	5,51	Tidak
18,2	1470,98	240,07	161,19	0,69	0,027	9,79	0,048	3,02	0,78	11,70	6,95	81,3	0,060	4,96	Tidak
18,4	1470,98	242,03	161,22	0,68	0,027	9,77	0,048	3,02	0,78	11,70	6,95	81,3	0,060	4,96	Tidak
18,6	490,33	243,37	160,64	0,68	0,027	1,97	0,238	3,42	0,78	3,91	12,67	49,5	0,053	4,42	Tidak
18,8	490,33	244,71	160,05	0,67	0,027	1,96	0,240	3,42	0,78	3,91	12,68	49,6	0,053	4,41	Tidak

19	980,65	246,28	159,70	0,67	0,027	5,87	0,080	3,12	0,78	7,84	8,15	63,9	0,057	4,68	Tidak
19,2	980,65	247,85	159,34	0,66	0,027	5,86	0,080	3,12	0,78	7,85	8,15	63,9	0,057	4,68	Tidak
19,4	1470,98	249,41	158,98	0,66	0,027	9,78	0,048	3,02	0,79	11,78	6,94	81,7	0,060	4,95	Tidak
19,6	1470,98	251,37	159,02	0,65	0,027	9,77	0,048	3,02	0,79	11,78	6,94	81,8	0,060	4,95	Tidak
19,8	2451,63	252,94	158,66	0,65	0,027	17,63	0,027	2,94	0,79	19,65	6,09	119,7	0,066	5,49	Tidak
20	2941,95	254,51	158,31	0,64	0,027	21,57	0,022	2,92	0,79	23,61	5,92	139,7	0,070	5,77	Tidak
20,2	3432,28	256,36	158,23	0,63	0,027	25,50	0,019	2,91	0,79	27,55	5,81	160,2	0,073	6,04	Tidak
20,4	2451,63	257,92	157,87	0,63	0,027	17,63	0,027	2,94	0,79	19,70	6,08	119,9	0,066	5,50	Tidak
20,6	1961,30	259,88	157,91	0,62	0,027	13,67	0,035	2,97	0,79	15,76	6,38	100,6	0,063	5,24	Tidak
20,8	2451,63	261,45	157,55	0,62	0,027	17,62	0,027	2,94	0,79	19,72	6,08	120,0	0,066	5,51	Tidak



Penelitian ini juga membuat analisis perhitungan kembali terhadap potensi likuifaksi di Kabupaten Tulungagung akibat pengaruh dari magnitude gempa yang dapat menghasilkan zona likuifaksi. Data magnitude gempa bumi yang direncanakan diatas 5,5 skala *ritcher* pada jarak epicenter dan kedalaman yang sama saat terjadi gempa bumi pada tanggal 29 April 2017 di Kabupaten Tulungagung dan dengan kedalaman dan jarak epicenter yang dangkal.

Tabel 4.23

Nilai *Peak Ground Acceleration* dengan Magnitude yang telah di tingkatan.

Data Gempa						
koordinat		Magnitude	Depth	Epicenter	R	PGA
Lat	Long	(SR)	(Km)	(Km)	(km)	(gal)
9,55	111,82	7,1	10	162	162,308	91,145

Jika di Kabupaten Tulungung terjadi gempa yang cukup besar dengan magnitude 7,1 menghasilkan *Peak Ground Acceleration* 91,145 gal dengan jarak episenter termasuk gempang menengah, akan menimbulkan terjadinya likuifaksi pada zona-zona kedalaman tertentu. Hasil analisis potensi likuifaksi berdasarkan data yang diprediksi tersebut menghasilkan zona-zona likuifaksi seperti pada tabel 4.24 dan tabel 4.25

Tabel 4.24

Hasil Analisis Potensi Likuifaksi dengan Nilai PGA sesuai Tabel 4.23 di titik 1

Depth (m)	CSR	CRR	Fs	potensi likuifaksi
0,2	0,060	0,093	1,54	Tidak
0,4	0,060	0,096	1,59	Tidak
0,6	0,060	0,100	1,66	Tidak
0,8	0,060	0,071	1,18	Tidak
1	0,060	0,078	1,30	Tidak
1,2	0,060	0,076	1,27	Tidak
1,4	0,060	0,074	1,24	Tidak
1,6	0,060	0,065	1,09	Tidak

1,8	0,060	0,064	1,08	Tidak
2	0,059	0,063	1,07	Tidak
2,2	0,059	0,063	1,06	Tidak
2,4	0,059	0,056	0,95	Likuifaksi
2,6	0,059	0,056	0,95	Likuifaksi
2,8	0,059	0,056	0,94	Likuifaksi
3	0,059	0,061	1,04	Tidak
3,2	0,059	0,066	1,12	Tidak
3,4	0,059	0,071	1,21	Tidak
3,6	0,059	0,070	1,20	Tidak
3,8	0,059	0,070	1,19	Tidak
4	0,059	0,064	1,10	Tidak
4,2	0,058	0,064	1,10	Tidak
4,4	0,058	0,052	0,89	Likuifaksi
4,6	0,058	0,052	0,89	Likuifaksi
4,8	0,058	0,054	0,94	Likuifaksi
5	0,058	0,054	0,94	Likuifaksi
5,2	0,058	0,063	1,08	Tidak
5,4	0,058	0,067	1,15	Tidak
5,6	0,058	0,070	1,22	Tidak
5,8	0,058	0,066	1,15	Tidak
6	0,058	0,082	1,42	Tidak
6,2	0,058	0,066	1,14	Tidak
6,4	0,057	0,073	1,27	Tidak
6,6	0,057	0,061	1,07	Tidak
6,8	0,057	0,065	1,13	Tidak
7	0,057	0,065	1,13	Tidak
7,2	0,057	0,061	1,07	Tidak
7,4	0,057	0,054	0,94	Likuifaksi
7,6	0,057	0,054	0,94	Likuifaksi
7,8	0,057	0,057	1,00	Tidak
8	0,057	0,084	1,48	Tidak
8,2	0,057	0,067	1,18	Tidak
8,4	0,057	0,063	1,12	Tidak
8,6	0,056	0,063	1,12	Tidak
8,8	0,056	0,063	1,12	Tidak
9	0,056	0,069	1,23	Tidak

9,2	0,056	0,063	1,12	Tidak
9,4	0,056	0,066	1,17	Tidak
9,6	0,056	0,069	1,23	Tidak
9,8	0,056	0,065	1,17	Tidak
10	0,056	0,074	1,33	Tidak
10,2	0,056	0,068	1,21	Tidak
10,4	0,057	0,053	0,93	Likuifaksi
10,6	0,057	0,074	1,30	Tidak
10,8	0,058	0,071	1,24	Tidak
11	0,058	0,074	1,28	Tidak
11,2	0,058	0,085	1,47	Tidak
11,4	0,059	0,097	1,67	Tidak
11,6	0,059	0,079	1,35	Tidak
11,8	0,060	0,062	1,03	Tidak
12	0,060	0,059	0,98	Likuifaksi
12,2	0,060	0,053	0,87	Likuifaksi
12,4	0,061	0,053	0,86	Likuifaksi
12,6	0,061	0,053	0,85	Likuifaksi
12,8	0,057	0,056	0,97	Likuifaksi
13	0,057	0,061	1,08	Tidak
13,2	0,057	0,067	1,18	Tidak
13,4	0,057	0,058	1,02	Tidak
13,6	0,057	0,058	1,01	Tidak
13,8	0,057	0,056	0,96	Likuifaksi
14	0,057	0,058	1,01	Tidak
14,2	0,057	0,061	1,06	Tidak
14,4	0,057	0,072	1,27	Tidak
14,6	0,057	0,075	1,32	Tidak
14,8	0,057	0,069	1,21	Tidak
15	0,057	0,075	1,31	Tidak
15,2	0,056	0,072	1,26	Tidak
15,4	0,056	0,074	1,31	Tidak
15,6	0,056	0,063	1,10	Tidak
15,8	0,056	0,061	1,04	Tidak
16	0,056	0,058	0,99	Likuifaksi
16,2	0,056	0,055	0,94	Likuifaksi
16,4	0,056	0,055	0,94	Likuifaksi

16,6	0,056	0,061	1,04	Tidak
16,8	0,056	0,074	1,30	Tidak
17	0,055	0,061	1,04	Tidak
17,2	0,055	0,060	1,04	Tidak
17,4	0,055	0,063	1,09	Tidak
17,6	0,055	0,058	0,98	Likuifaksi
17,8	0,055	0,058	0,98	Likuifaksi
18	0,055	0,060	1,03	Tidak
18,2	0,054	0,065	1,14	Tidak
18,4	0,054	0,063	1,08	Tidak
18,6	0,054	0,063	1,08	Tidak
18,8	0,054	0,070	1,24	Tidak
19	0,053	0,060	1,03	Tidak
19,2	0,053	0,063	1,09	Tidak
19,4	0,053	0,063	1,09	Tidak
19,6	0,053	0,070	1,24	Tidak
19,8	0,053	0,068	1,19	Tidak
20	0,052	0,062	1,09	Tidak
20,2	0,052	0,057	0,98	Likuifaksi
20,4	0,052	0,057	0,99	Likuifaksi
20,6	0,051	0,060	1,04	Tidak
20,8	0,051	0,065	1,14	Tidak

Tabel 4.25

Hasil Analisis Potensi Likuifaksi dengan Nilai PGA sesuai Tabel 4.23 di titik 3

Depth (m)	CSR	CRR	Fs	potensi likuifaksi
0,2	0,060	0,059	0,98	Likuifaksi
0,4	0,060	0,081	1,35	Tidak
0,6	0,060	0,119	1,98	Tidak
0,8	0,060	0,082	1,37	Tidak
1	0,060	0,054	0,90	Likuifaksi
1,2	0,060	0,054	0,90	Likuifaksi
1,4	0,060	0,053	0,89	Likuifaksi

1,6	0,060	0,053	0,89	Likuifaksi
1,8	0,060	0,053	0,89	Likuifaksi
2	0,059	0,053	0,89	Likuifaksi
2,2	0,059	0,053	0,89	Likuifaksi
2,4	0,059	0,053	0,89	Likuifaksi
2,6	0,059	0,052	0,89	Likuifaksi
2,8	0,059	0,052	0,89	Likuifaksi
3	0,059	0,056	0,94	Likuifaksi
3,2	0,059	0,056	0,94	Likuifaksi
3,4	0,059	0,055	0,94	Likuifaksi
3,6	0,059	0,052	0,89	Likuifaksi
3,8	0,059	0,052	0,89	Likuifaksi
4	0,059	0,052	0,89	Likuifaksi
4,2	0,058	0,052	0,89	Likuifaksi
4,4	0,058	0,052	0,89	Likuifaksi
4,6	0,058	0,052	0,89	Likuifaksi
4,8	0,058	0,055	0,94	Likuifaksi
5	0,058	0,063	1,09	Tidak
5,2	0,058	0,059	1,01	Tidak
5,4	0,058	0,059	1,01	Tidak
5,6	0,058	0,054	0,94	Likuifaksi
5,8	0,058	0,054	0,94	Likuifaksi
6	0,058	0,062	1,08	Tidak
6,2	0,058	0,058	1,01	Tidak
6,4	0,057	0,054	0,94	Likuifaksi
6,6	0,057	0,054	0,94	Likuifaksi
6,8	0,057	0,054	0,94	Likuifaksi
7	0,057	0,061	1,07	Tidak
7,2	0,057	0,068	1,20	Tidak
7,4	0,057	0,072	1,26	Tidak
7,6	0,057	0,078	1,38	Tidak
7,8	0,057	0,068	1,19	Tidak
8	0,057	0,060	1,07	Tidak
8,2	0,057	0,053	0,94	Likuifaksi
8,4	0,057	0,053	0,94	Likuifaksi
8,6	0,056	0,057	1,00	Tidak
8,8	0,056	0,060	1,06	Tidak
9	0,056	0,057	1,01	Tidak
9,2	0,056	0,053	0,95	Likuifaksi
9,4	0,056	0,053	0,95	Likuifaksi

9,6	0,056	0,053	0,95	Likuifaksi
9,8	0,056	0,051	0,92	Likuifaksi
10	0,056	0,051	0,92	Likuifaksi
10,2	0,056	0,051	0,91	Likuifaksi
10,4	0,057	0,051	0,90	Likuifaksi
10,6	0,057	0,051	0,89	Likuifaksi
10,8	0,058	0,051	0,89	Likuifaksi
11	0,056	0,051	0,91	Likuifaksi
11,2	0,056	0,051	0,91	Likuifaksi
11,4	0,057	0,053	0,94	Likuifaksi
11,6	0,057	0,056	0,99	Likuifaksi
11,8	0,057	0,056	0,99	Likuifaksi
12	0,057	0,063	1,09	Tidak
12,2	0,058	0,063	1,09	Tidak
12,4	0,058	0,063	1,08	Tidak
12,6	0,058	0,072	1,24	Tidak
12,8	0,058	0,078	1,35	Tidak
13	0,058	0,072	1,23	Tidak
13,2	0,059	0,063	1,07	Tidak
13,4	0,059	0,063	1,07	Tidak
13,6	0,059	0,063	1,06	Tidak
13,8	0,059	0,060	1,01	Tidak
14	0,059	0,056	0,95	Likuifaksi
14,2	0,060	0,056	0,95	Likuifaksi
14,4	0,060	0,056	0,94	Likuifaksi
14,6	0,060	0,053	0,89	Likuifaksi
14,8	0,060	0,053	0,89	Likuifaksi
15	0,060	0,053	0,88	Likuifaksi
15,2	0,060	0,053	0,88	Likuifaksi
15,4	0,061	0,051	0,85	Likuifaksi
15,6	0,061	0,051	0,84	Likuifaksi
15,8	0,061	0,051	0,84	Likuifaksi
16	0,061	0,056	0,93	Likuifaksi
16,2	0,061	0,053	0,87	Likuifaksi
16,4	0,061	0,053	0,87	Likuifaksi
16,6	0,061	0,060	0,97	Likuifaksi
16,8	0,061	0,066	1,08	Tidak
17	0,062	0,076	1,23	Tidak
17,2	0,062	0,082	1,34	Tidak
17,4	0,062	0,073	1,18	Tidak

17,6	0,062	0,069	1,12	Tidak
17,8	0,062	0,066	1,07	Tidak
18	0,062	0,066	1,07	Tidak
18,2	0,062	0,060	0,97	Likuifaksi
18,4	0,062	0,060	0,97	Likuifaksi
18,6	0,062	0,053	0,86	Likuifaksi
18,8	0,062	0,053	0,86	Likuifaksi
19	0,062	0,057	0,91	Likuifaksi
19,2	0,062	0,057	0,91	Likuifaksi
19,4	0,062	0,060	0,96	Likuifaksi
19,6	0,062	0,060	0,96	Likuifaksi
19,8	0,062	0,066	1,07	Tidak
20	0,062	0,070	1,12	Tidak
20,2	0,062	0,073	1,17	Tidak
20,4	0,062	0,066	1,07	Tidak
20,6	0,062	0,063	1,02	Tidak
20,8	0,062	0,066	1,07	Tidak

Jika di Kabupaten Tulungung terjadi gempa dengan magnitudo 6,4 skala *richter* menghasilkan *Peak Ground Acceleration* 97,161 gal dengan jarak episenter termasuk gempang dangkal, akan menimbulkan terjadinya likuifaksi pada zona-zona kedalaman tertentu. Hasil analisis potensi likuifaksi berdasarkan data yang diprediksi tersebut menghasilkan zona-zona likuifaksi seperti pada tabel 4.27 dan tabel 4.28

Tabel 4.26

Nilai *Peak Ground Acceleration* dengan Kedalaman dan Epicenter yang diubah

Data Gempa						
koordinat		Magnitude	Depth	Epicenter	R	PGA
Lat	Long	(SR)	(Km)	(Km)	(km)	(gal)
9,55	111,82	6,4	45	70	83,217	97,161

Tabel 4.27

Potensi Likuifaksi dengan Nilai PGA sesuai Tabel 4.26 di titik 1

Depth (m)	CSR	CRR	Fs	potensi likuifaksi
0,2	0,085	0,093	1,65	Tidak
0,4	0,085	0,096	1,69	Tidak
0,6	0,085	0,100	1,77	Tidak
0,8	0,084	0,071	1,26	Tidak
1	0,084	0,078	1,39	Tidak
1,2	0,084	0,076	1,35	Tidak
1,4	0,084	0,074	1,32	Tidak
1,6	0,084	0,065	1,16	Tidak
1,8	0,084	0,064	1,15	Tidak
2	0,084	0,063	1,14	Tidak
2,2	0,084	0,063	1,13	Tidak
2,4	0,083	0,056	1,01	Tidak
2,6	0,083	0,056	1,01	Tidak
2,8	0,083	0,056	1,01	Tidak
3	0,083	0,061	1,10	Tidak
3,2	0,083	0,066	1,20	Tidak
3,4	0,083	0,071	1,29	Tidak
3,6	0,083	0,070	1,28	Tidak
3,8	0,083	0,070	1,27	Tidak
4	0,082	0,064	1,17	Tidak
4,2	0,082	0,064	1,17	Tidak
4,4	0,082	0,052	0,95	Likuifaksi
4,6	0,082	0,052	0,95	Likuifaksi
4,8	0,082	0,054	1,00	Likuifaksi
5	0,082	0,054	1,00	Likuifaksi
5,2	0,082	0,063	1,15	Tidak
5,4	0,081	0,067	1,23	Tidak
5,6	0,081	0,070	1,30	Tidak
5,8	0,081	0,066	1,22	Tidak
6	0,081	0,082	1,51	Tidak
6,2	0,081	0,066	1,21	Tidak
6,4	0,081	0,073	1,35	Tidak
6,6	0,081	0,061	1,14	Tidak
6,8	0,081	0,065	1,21	Tidak

7	0,080	0,065	1,21	Tidak
7,2	0,080	0,061	1,14	Tidak
7,4	0,080	0,054	1,00	Tidak
7,6	0,080	0,054	1,00	Tidak
7,8	0,080	0,057	1,07	Tidak
8	0,080	0,084	1,58	Tidak
8,2	0,080	0,067	1,26	Tidak
8,4	0,080	0,063	1,19	Tidak
8,6	0,079	0,063	1,19	Tidak
8,8	0,079	0,063	1,19	Tidak
9	0,079	0,069	1,31	Tidak
9,2	0,079	0,063	1,19	Tidak
9,4	0,079	0,066	1,25	Tidak
9,6	0,079	0,069	1,31	Tidak
9,8	0,079	0,065	1,25	Tidak
10	0,078	0,074	1,42	Tidak
10,2	0,079	0,068	1,29	Tidak
10,4	0,080	0,053	1,00	Likuifaksi
10,6	0,081	0,074	1,38	Tidak
10,8	0,081	0,071	1,32	Tidak
11	0,082	0,074	1,36	Tidak
11,2	0,083	0,087	1,57	Tidak
11,4	0,083	0,099	1,78	Tidak
11,6	0,084	0,080	1,44	Tidak
11,8	0,085	0,062	1,10	Tidak
12	0,085	0,059	1,04	Tidak
12,2	0,086	0,053	0,93	Likuifaksi
12,4	0,087	0,053	0,92	Likuifaksi
12,6	0,087	0,053	0,91	Likuifaksi
12,8	0,081	0,056	1,04	Tidak
13	0,082	0,062	1,15	Tidak
13,2	0,082	0,068	1,26	Tidak
13,4	0,082	0,059	1,08	Tidak
13,6	0,082	0,059	1,08	Tidak
13,8	0,082	0,056	1,02	Tidak
14	0,083	0,059	1,08	Tidak
14,2	0,083	0,062	1,13	Tidak

14,4	0,083	0,075	1,35	Tidak
14,6	0,083	0,078	1,40	Tidak
14,8	0,083	0,072	1,29	Tidak
15	0,084	0,078	1,40	Tidak
15,2	0,084	0,075	1,34	Tidak
15,4	0,084	0,078	1,39	Tidak
15,6	0,084	0,066	1,17	Tidak
15,8	0,084	0,062	1,11	Tidak
16	0,084	0,059	1,06	Tidak
16,2	0,084	0,056	1,00	Likuifaksi
16,4	0,085	0,056	1,00	Likuifaksi
16,6	0,085	0,062	1,11	Tidak
16,8	0,085	0,078	1,38	Tidak
17	0,085	0,063	1,10	Tidak
17,2	0,085	0,063	1,10	Tidak
17,4	0,085	0,066	1,16	Tidak
17,6	0,085	0,059	1,05	Tidak
17,8	0,085	0,059	1,05	Tidak
18	0,085	0,063	1,10	Tidak
18,2	0,085	0,069	1,21	Tidak
18,4	0,085	0,066	1,16	Tidak
18,6	0,085	0,066	1,16	Tidak
18,8	0,085	0,075	1,32	Tidak
19	0,085	0,063	1,10	Tidak
19,2	0,085	0,066	1,16	Tidak
19,4	0,085	0,066	1,16	Tidak
19,6	0,085	0,075	1,32	Tidak
19,8	0,085	0,072	1,27	Tidak
20	0,085	0,066	1,16	Tidak
20,2	0,085	0,059	1,05	Tidak
20,4	0,085	0,059	1,05	Tidak
20,6	0,085	0,063	1,11	Tidak
20,8	0,085	0,069	1,22	Tidak



Tabel 4.28

Potensi Likuifaksi dengan Nilai PGA sesuai Tabel 4.26 di titik 3

Depth (m)	CSR	CRR	F_s	potensi likuifaksi
0,2	0,085	0,059	1,04	Tidak
0,4	0,085	0,081	1,44	Tidak
0,6	0,085	0,119	2,12	Tidak
0,8	0,084	0,082	1,47	Tidak
1	0,084	0,054	0,96	Likuifaksi
1,2	0,084	0,054	0,95	Likuifaksi
1,4	0,084	0,053	0,95	Likuifaksi

1,6	0,084	0,053	0,95	Likuifaksi
1,8	0,084	0,053	0,95	Likuifaksi
2	0,084	0,053	0,95	Likuifaksi
2,2	0,084	0,053	0,95	Likuifaksi
2,4	0,083	0,053	0,95	Likuifaksi
2,6	0,083	0,052	0,94	Likuifaksi
2,8	0,083	0,052	0,94	Likuifaksi
3	0,083	0,056	1,01	Tidak
3,2	0,083	0,056	1,00	Tidak
3,4	0,083	0,055	1,00	Tidak
3,6	0,083	0,052	0,95	Likuifaksi
3,8	0,083	0,052	0,95	Likuifaksi
4	0,082	0,052	0,95	Likuifaksi
4,2	0,082	0,052	0,95	Likuifaksi
4,4	0,082	0,052	0,95	Likuifaksi
4,6	0,082	0,052	0,95	Likuifaksi
4,8	0,082	0,055	1,00	Likuifaksi
5	0,082	0,063	1,16	Tidak
5,2	0,082	0,059	1,08	Tidak
5,4	0,081	0,059	1,08	Tidak
5,6	0,081	0,054	1,00	Likuifaksi
5,8	0,081	0,054	1,00	Likuifaksi
6	0,081	0,062	1,15	Tidak
6,2	0,081	0,058	1,07	Tidak
6,4	0,081	0,054	1,00	Tidak
6,6	0,081	0,054	1,00	Tidak
6,8	0,081	0,054	1,00	Tidak
7	0,080	0,061	1,14	Tidak
7,2	0,080	0,068	1,28	Tidak
7,4	0,080	0,072	1,34	Tidak
7,6	0,080	0,078	1,47	Tidak
7,8	0,080	0,068	1,27	Tidak
8	0,080	0,060	1,14	Tidak
8,2	0,080	0,053	1,01	Tidak
8,4	0,080	0,053	1,01	Tidak
8,6	0,079	0,057	1,07	Tidak
8,8	0,079	0,060	1,13	Tidak

9	0,079	0,057	1,07	Tidak
9,2	0,079	0,053	1,01	Tidak
9,4	0,079	0,053	1,01	Tidak
9,6	0,079	0,053	1,01	Tidak
9,8	0,079	0,051	0,98	Likuifaksi
10	0,078	0,051	0,98	Likuifaksi
10,2	0,079	0,051	0,97	Likuifaksi
10,4	0,080	0,051	0,96	Likuifaksi
10,6	0,081	0,051	0,95	Likuifaksi
10,8	0,081	0,051	0,94	Likuifaksi
11	0,079	0,051	0,97	Likuifaksi
11,2	0,079	0,051	0,97	Likuifaksi
11,4	0,080	0,053	1,00	Tidak
11,6	0,080	0,056	1,06	Tidak
11,8	0,080	0,056	1,05	Tidak
12	0,081	0,063	1,16	Tidak
12,2	0,081	0,063	1,16	Tidak
12,4	0,081	0,063	1,16	Tidak
12,6	0,082	0,072	1,33	Tidak
12,8	0,082	0,078	1,44	Tidak
13	0,082	0,072	1,32	Tidak
13,2	0,082	0,063	1,14	Tidak
13,4	0,083	0,063	1,14	Tidak
13,6	0,083	0,063	1,13	Tidak
13,8	0,083	0,060	1,07	Tidak
14	0,083	0,056	1,01	Tidak
14,2	0,084	0,056	1,01	Tidak
14,4	0,084	0,056	1,01	Tidak
14,6	0,084	0,053	0,95	Likuifaksi
14,8	0,084	0,053	0,94	Likuifaksi
15	0,085	0,053	0,94	Likuifaksi
15,2	0,085	0,053	0,94	Likuifaksi
15,4	0,085	0,051	0,90	Likuifaksi
15,6	0,085	0,051	0,90	Likuifaksi
15,8	0,086	0,051	0,90	Likuifaksi
16	0,086	0,056	0,99	Likuifaksi
16,2	0,086	0,053	0,93	Likuifaksi

16,4	0,086	0,053	0,93	Likuifaksi
16,6	0,086	0,060	1,04	Tidak
16,8	0,087	0,066	1,15	Tidak
17	0,087	0,076	1,31	Tidak
17,2	0,087	0,082	1,43	Tidak
17,4	0,087	0,073	1,26	Tidak
17,6	0,087	0,069	1,20	Tidak
17,8	0,087	0,066	1,14	Tidak
18	0,087	0,066	1,14	Tidak
18,2	0,087	0,060	1,03	Tidak
18,4	0,087	0,060	1,03	Tidak
18,6	0,087	0,053	0,92	Likuifaksi
18,8	0,087	0,053	0,92	Likuifaksi
19	0,087	0,057	0,97	Likuifaksi
19,2	0,087	0,057	0,97	Likuifaksi
19,4	0,087	0,060	1,03	Tidak
19,6	0,087	0,060	1,03	Tidak
19,8	0,087	0,066	1,14	Tidak
20	0,087	0,070	1,20	Tidak
20,2	0,087	0,073	1,25	Tidak
20,4	0,087	0,066	1,14	Tidak
20,6	0,087	0,063	1,09	Tidak
20,8	0,087	0,066	1,14	Tidak

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal mengenai potensi likuifaksi akibat gempa bumi yang terjadi di Kabupaten Tulungagung sebagai berikut :

5. Berdasarkan data gempa bumi yang pernah terjadi di Kabupaten Tulungagung, magnitude gempa yang terjadi dari tahun 2013 hingga tahun 2017 memiliki magnitude dengan skala terbesar yaitu 5,5 skala *richter* akibat gempa tektonik.
6. Berdasarkan data peristiwa gempa yang telah terjadi di Kabupaten Tulungagung dan CPT, nilai CSR relatif kecil berkisar antara 0,022 sampai dengan 0,0259 pada titik 1. Nilai tersebut sangat kecil jika dibandingkan dengan harga CRR yang berkisar antara 0,052 sampai dengan 0,093 dan menghasilkan nilai FS berkisar antara 4,57 sampai dengan 8,54. Sehingga zona likuifaksi tidak terjadi pada semua kedalaman.
7. Dari hasil analisis perhitungan potensi likuifaksi di Kabupaten Tulungagung yang dihitung kembali, lapisan tanah menghasilkan potensi terjadi likuifaksi ($FS < 1$) pada kondisi magnitude gempa bumi di tingkatkan dari 5,5 SR, kedalam 10 km dan jarak episenter 162 km menjadi 7,1 SR dengan kedalaman dan jarak episenter yang sama dan magnitude 6,4 SR dengan kedalaman 45 km dan jarak episenter 70 km .

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, disarankan beberapa hal berikut:

1. Hasil perhitungan analisis potensi likuifaksi dengan data CPT yang diperoleh sebaiknya dibandingkan dengan metode perhitungan lainnya, seperti perhitungan menggunakan data pengujian laboratorium atau pengujian penetrasi standar (SPT).
2. Diharapkan dengan hasil perhitungan analisis potensi likuifaksi di Kabupaten Tulungagung dengan magnitude gempa bumi rencan yang ditingkatkan hingga 7 SR, dapat membantu perencanaan pembangunan infrastruktur yang akan dilakukan pada daerah Kabupaten Tulungagung



DAFTAR PUSTAKA

- Febi, Dwi, dkk. 2004. *Analisis Potensi Soil Liquefaction Di Daerah Pesisir Kota Pacitan Berdasarkan Data CPT*. Institut Teknik Surabaya.
- Lastaruna, Dody. 2009. *Analisa Potensi Likuifaksi berdasarkan Data Pengujian Sondir (studi Kasus GOR Haji Agus Salim dan Lapai, Padang)*. Jurnal Rekayasa Sipil Vol. 5.
- Lunne, T., Robertson, P.K. and Powell, J.J.M., 1997. *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*. EF Spon/Blackie Academic, Routledge Publishers, London, 312 p.
- Robertson, P.K., 1990. *Soil classification using the cone penetration test*. Canadian Geotechnical J. 27(1), 151–58.
- Robertson, P. K., and Wride, C. E., 1997. *Cyclic liquefaction and its evaluation based on SPT and CPT*. in Proceedings, NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils.
- Robertson, P.K. and Wride, C.E., 1998. *Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test*. Canadian Geotechnical Journal, 35:442-459
- Romadiana, Dwi. 2018. *Analisis Nilai Percepatan Tanah Maksimum di Wilayah Sumatera Barat Menggunakan Persamaan Empiris Mc. Guire, Si and Midorikawa dan Donovan*. Pillar of Physics, Vol. 11, No 1
- Seed, H.B., and Idriss, I.M., 1971. *Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential*. Journal of Geotechnical and Foundation Engineering, ASCE, 97(9), pp.1249-1273.
- Soebowo, E., Tohari, A., Sarah, D., 2009. *Potensi Likuifaksi Akibat Gempabumi Berdasarkan Data CPT dan N-SPT di Daerah Patalan, Bantul*. Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan, Jilid 19, No. 2, 85 – 97.
- Youd, T.L. et.al., 2001. *Liquefaction Resistance of soils: Summary Report from The 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 127, No.8, August 2001, pp.817-833



LAMPIRAN



LAMPIRAN 1

DATA CPT S.1 LODOYO, KABUPATEN TULUNGAGUNG

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA Jl. Mayjen Haryono 167 Malang 65145 Telp. (0341) 561080					DATA SONDIR		
Project : BKR-10 KA.2 Location : LODOYO TULUNGAGUNG Hole No. : S.1 Cut/Fill : - GWL : m Date : 30.- 10 - 2017					Koordinate x : 0597587 y : 9106277 Type Of Apparatus : 2.50 Ton Diperiksa /dikerjakan : Ketut Sugiharto.ST.MT Type Of Cone Unit : Biconus Sheet 1		
H (m)	qc (kg/cm ²)	JP (kg/cm ²)	Pg (kg/cm ²)	HP (kg/cm)	J.H.P (kg/cm)	HS (kg/cm ²)	FR (%)
0.00	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0
0.20	10	15	5	6.396	6.396	0.320	3.198
0.40	15	20	5	6.396	12.792	0.320	2.132
0.60	20	25	5	6.396	19.189	0.320	1.599
0.80	10	25	15	19.189	38.377	0.959	9.594
1.00	15	20	5	6.396	44.773	0.320	2.132
1.20	15	20	5	6.396	51.170	0.320	2.132
1.40	15	20	5	6.396	57.566	0.320	2.132
1.60	10	15	5	6.396	63.962	0.320	3.198
1.80	10	15	5	6.396	70.358	0.320	3.198
2.00	10	15	5	6.396	76.754	0.320	3.198
2.20	10	15	5	6.396	83.151	0.320	3.198
2.40	5	10	5	6.396	89.547	0.320	6.396
2.60	5	10	5	6.396	95.943	0.320	6.396
2.80	5	10	5	6.396	102.339	0.320	6.396
3.00	10	15	5	6.396	108.735	0.320	3.198
3.20	15	20	5	6.396	115.131	0.320	2.132
3.40	20	25	5	6.396	121.528	0.320	1.599
3.60	20	25	5	6.396	127.924	0.320	1.599
3.80	20	25	5	6.396	134.320	0.320	1.599
4.00	15	25	10	12.792	147.112	0.640	4.264
4.20	15	20	5	6.396	153.509	0.320	2.132
4.40	2	5	3	3.838	157.346	0.192	9.594
4.60	2	5	3	3.838	161.184	0.192	9.594
4.80	5	10	5	6.396	167.580	0.320	6.396
5.00	5	10	5	6.396	173.976	0.320	6.396
5.20	15	20	5	6.396	180.373	0.320	2.132
5.40	20	25	5	6.396	186.769	0.320	1.599
5.60	25	30	5	6.396	193.165	0.320	1.279
5.80	20	30	10	12.792	205.957	0.640	3.198
6.00	40	50	10	12.792	218.750	0.640	1.599
6.20	20	25	5	6.396	225.146	0.320	1.599
6.40	30	35	5	6.396	231.542	0.320	1.066
6.60	15	20	5	6.396	237.938	0.320	2.132
6.80	20	25	5	6.396	244.335	0.320	1.599
7.00	20	25	5	6.396	250.731	0.320	1.599
7.20	15	20	5	6.396	257.127	0.320	2.132
7.40	5	10	5	6.396	263.523	0.320	6.396
7.60	5	10	5	6.396	269.919	0.320	6.396

7.80	10	20	10	12.792	282.712	0.640	6.396
8.00	50	60	10	12.792	295.504	0.640	1.279
8.20	25	40	15	19.189	314.693	0.959	3.838
8.40	20	25	5	6.396	321.089	0.320	1.599
8.60	20	25	5	6.396	327.485	0.320	1.599
8.80	20	25	5	6.396	333.881	0.320	1.599
9.00	30	40	10	12.792	346.674	0.640	2.132
9.20	20	30	10	12.792	359.466	0.640	3.198
9.40	25	30	5	6.396	365.862	0.320	1.279
9.60	30	35	5	6.396	372.258	0.320	1.066
9.80	25	30	5	6.396	378.655	0.320	1.279
10.00	40	50	10	12.792	391.447	0.640	1.599
10.20	30	35	5	6.396	397.843	0.320	1.066
10.40	5	10	5	6.396	404.239	0.320	6.396
10.60	40	45	5	6.396	410.636	0.320	0.800
10.80	35	40	5	6.396	417.032	0.320	0.914
11.00	40	60	20	25.585	442.617	1.279	3.198
11.20	60	70	10	12.792	455.409	0.640	1.066
11.40	80	90	10	12.792	468.201	0.640	0.800
11.60	50	60	10	12.792	480.994	0.640	1.279
11.80	20	25	5	6.396	487.390	0.320	1.599
12.00	15	20	5	6.396	493.786	0.320	2.132
12.20	5	10	5	6.396	500.182	0.320	6.396
12.40	5	10	5	6.396	506.578	0.320	6.396
12.60	5	10	5	6.396	512.975	0.320	6.396
12.80	10	15	5	6.396	519.371	0.320	3.198
13.00	20	25	5	6.396	525.767	0.320	1.599
13.20	30	35	5	6.396	532.163	0.320	1.066
13.40	15	20	5	6.396	538.559	0.320	2.132
13.60	15	20	5	6.396	544.956	0.320	2.132
13.80	10	15	5	6.396	551.352	0.320	3.198
14.00	15	20	5	6.396	557.748	0.320	2.132
14.20	20	25	5	6.396	564.144	0.320	1.599
14.40	40	50	10	12.792	576.937	0.640	1.599
14.60	45	50	5	6.396	583.333	0.320	0.711
14.80	35	40	5	6.396	589.729	0.320	0.914
15.00	45	60	15	19.189	608.918	0.959	2.132
15.20	40	50	10	12.792	621.710	0.640	1.599
15.40	45	60	15	19.189	640.899	0.959	2.132
15.60	25	30	5	6.396	647.295	0.320	1.279
15.80	20	30	10	12.792	660.087	0.640	3.198
16.00	15	20	5	6.396	666.483	0.320	2.132
16.20	10	15	5	6.396	672.880	0.320	3.198
16.40	10	15	5	6.396	679.276	0.320	3.198
16.60	20	25	5	6.396	685.672	0.320	1.599
16.80	45	50	5	6.396	692.068	0.320	0.711
17.00	20	25	5	6.396	698.464	0.320	1.599
17.20	20	25	5	6.396	704.860	0.320	1.599
17.40	25	30	5	6.396	711.257	0.320	1.279
17.60	15	20	5	6.396	717.653	0.320	2.132
17.80	15	20	5	6.396	724.049	0.320	2.132
18.00	20	25	5	6.396	730.445	0.320	1.599
18.20	30	35	5	6.396	736.841	0.320	1.066
18.40	25	30	5	6.396	743.238	0.320	1.279
18.60	25	30	5	6.396	749.634	0.320	1.279
18.80	40	50	10	12.792	762.426	0.640	1.599
19.00	20	30	10	12.792	775.219	0.640	3.198
19.20	25	30	5	6.396	781.615	0.320	1.279
19.40	25	35	10	12.792	794.407	0.640	2.558
19.60	40	50	10	12.792	807.200	0.640	1.599

19.80	35	40	5	6.396	813.596	0.320	0.914
20.00	25	30	5	6.396	819.992	0.320	1.279
20.20	15	20	5	6.396	826.388	0.320	2.132
20.40	15	25	10	12.792	839.181	0.640	4.264
20.60	20	25	5	6.396	845.577	0.320	1.599
20.80	30	40	10	12.792	858.369	0.640	2.132
Dept. 20.80 m							





DATA CPT S.2 LODOYO, KABUPATEN TULUNGAGUNG



LAMPIRAN 3

DATA CPT S.3 LODOYO, KABUPATEN TULUNGAGUNG

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA Jl. Mayjen Haryono 167 Malang 65145 Telp. (0341) 561080					DATA SONDIR		
Project : N1 KI 1/2 Location : LODOYO TULUNGAGUNG Hole No. : S.3 Cut/Fill : - GWL : m Date : 30.- 10 - 2017					Koordinate x : 0598931 y : 9105440 Type Of Apparatus : 2.50 Ton Diperiksa /dikerjakan : Ketut Sugiharto.ST.MT Type Of Cone Unit : Biconus Sheet 1		
H (m)	qc (kg/cm ²)	JP (kg/cm ²)	Pg (kg/cm ²)	HP (kg/cm)	J.H.P (kg/cm)	HS (kg/cm ²)	FR (%)
0.00	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0
0.20	2	5	3	3.838	3.838	0.192	9.594
0.40	10	15	5	6.396	10.234	0.320	3.198
0.60	25	30	5	6.396	16.630	0.320	1.279
0.80	15	20	5	6.396	23.026	0.320	2.132
1.00	2	5	3	3.838	26.864	0.192	9.594
1.20	2	5	3	3.838	30.702	0.192	9.594
1.40	2	5	3	3.838	34.539	0.192	9.594
1.60	2	5	3	3.838	38.377	0.192	9.594
1.80	2	5	3	3.838	42.215	0.192	9.594
2.00	2	5	3	3.838	46.053	0.192	9.594
2.20	2	5	3	3.838	49.890	0.192	9.594
2.40	2	5	3	3.838	53.728	0.192	9.594
2.60	2	5	3	3.838	57.566	0.192	9.594
2.80	2	5	3	3.838	61.403	0.192	9.594
3.00	5	10	5	6.396	67.800	0.320	6.396
3.20	5	10	5	6.396	74.196	0.320	6.396
3.40	5	10	5	6.396	80.592	0.320	6.396
3.60	2	5	3	3.838	84.430	0.192	9.594
3.80	2	5	3	3.838	88.267	0.192	9.594
4.00	2	5	3	3.838	92.105	0.192	9.594
4.20	2	5	3	3.838	95.943	0.192	9.594
4.40	2	5	3	3.838	99.781	0.192	9.594
4.60	2	5	3	3.838	103.618	0.192	9.594
4.80	5	10	5	6.396	110.015	0.320	6.396
5.00	15	20	5	6.396	116.411	0.320	2.132
5.20	10	15	5	6.396	122.807	0.320	3.198
5.40	10	15	5	6.396	129.203	0.320	3.198
5.60	5	10	5	6.396	135.599	0.320	6.396
5.80	5	10	5	6.396	141.995	0.320	6.396
6.00	15	20	5	6.396	148.392	0.320	2.132
6.20	10	15	5	6.396	154.788	0.320	3.198
6.40	5	10	5	6.396	161.184	0.320	6.396
6.60	5	10	5	6.396	167.580	0.320	6.396
6.80	5	10	5	6.396	173.976	0.320	6.396
7.00	15	25	10	12.792	186.769	0.640	4.264
7.20	25	40	15	19.189	205.957	0.959	3.838
7.40	30	40	10	12.792	218.750	0.640	2.132
7.60	40	50	10	12.792	231.542	0.640	1.599

7.80	25	30	5	6.396	237.938	0.320	1.279
8.00	15	20	5	6.396	244.335	0.320	2.132
8.20	5	10	5	6.396	250.731	0.320	6.396
8.40	5	10	5	6.396	257.127	0.320	6.396
8.60	10	15	5	6.396	263.523	0.320	3.198
8.80	15	20	5	6.396	269.919	0.320	2.132
9.00	10	15	5	6.396	276.316	0.320	3.198
9.20	5	10	5	6.396	282.712	0.320	6.396
9.40	5	10	5	6.396	289.108	0.320	6.396
9.60	5	10	5	6.396	295.504	0.320	6.396
9.80	2	5	3	3.838	299.342	0.192	9.594
10.00	2	5	3	3.838	303.180	0.192	9.594
10.20	2	5	3	3.838	307.017	0.192	9.594
10.40	2	5	3	3.838	310.855	0.192	9.594
10.60	2	5	3	3.838	314.693	0.192	9.594
10.80	2	5	3	3.838	318.530	0.192	9.594
11.00	2	5	3	3.838	322.368	0.192	9.594
11.20	2	5	3	3.838	326.206	0.192	9.594
11.40	5	10	5	6.396	332.602	0.320	6.396
11.60	10	20	10	12.792	345.394	0.640	6.396
11.80	10	15	5	6.396	351.791	0.320	3.198
12.00	20	25	5	6.396	358.187	0.320	1.599
12.20	20	30	10	12.792	370.979	0.640	3.198
12.40	20	35	15	19.189	390.168	0.959	4.797
12.60	35	40	5	6.396	396.564	0.320	0.914
12.80	45	50	5	6.396	402.960	0.320	0.711
13.00	35	40	5	6.396	409.356	0.320	0.914
13.20	20	25	5	6.396	415.753	0.320	1.599
13.40	20	25	5	6.396	422.149	0.320	1.599
13.60	20	30	10	12.792	434.941	0.640	3.198
13.80	15	20	5	6.396	441.337	0.320	2.132
14.00	10	15	5	6.396	447.734	0.320	3.198
14.20	10	15	5	6.396	454.130	0.320	3.198
14.40	10	15	5	6.396	460.526	0.320	3.198
14.60	5	10	5	6.396	466.922	0.320	6.396
14.80	5	10	5	6.396	473.318	0.320	6.396
15.00	5	10	5	6.396	479.714	0.320	6.396
15.20	5	10	5	6.396	486.111	0.320	6.396
15.40	2	5	3	3.838	489.948	0.192	9.594
15.60	2	5	3	3.838	493.786	0.192	9.594
15.80	2	5	3	3.838	497.624	0.192	9.594
16.00	10	15	5	6.396	504.020	0.320	3.198
16.20	5	10	5	6.396	510.416	0.320	6.396
16.40	5	10	5	6.396	516.812	0.320	6.396
16.60	15	25	10	12.792	529.605	0.640	4.264
16.80	25	35	10	12.792	542.397	0.640	2.558
17.00	40	45	5	6.396	548.793	0.320	0.800
17.20	50	60	10	12.792	561.586	0.640	1.279
17.40	35	40	5	6.396	567.982	0.320	0.914
17.60	30	50	20	25.585	593.567	1.279	4.264
17.80	25	30	5	6.396	599.963	0.320	1.279
18.00	25	40	15	19.189	619.151	0.959	3.838
18.20	15	25	10	12.792	631.944	0.640	4.264
18.40	15	25	10	12.792	644.736	0.640	4.264
18.60	5	10	5	6.396	651.132	0.320	6.396
18.80	5	10	5	6.396	657.529	0.320	6.396
19.00	10	15	5	6.396	663.925	0.320	3.198
19.20	10	15	5	6.396	670.321	0.320	3.198
19.40	15	20	5	6.396	676.717	0.320	2.132
19.60	15	25	10	12.792	689.510	0.640	4.264

19.80	25	35	10	12.792	702.302	0.640	2.558
20.00	30	40	10	12.792	715.094	0.640	2.132
20.20	35	40	5	6.396	721.491	0.320	0.914
20.40	25	30	5	6.396	727.887	0.320	1.279
20.60	20	35	15	19.189	747.075	0.959	4.797
20.80	25	35	10	12.792	759.868	0.640	2.558
Dept. 20.80 m							





LAMPIRAN 4

DATA CPT S.4 LODOYO, KABUPATEN TULUNGAGUNG

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA Jl. Mayjen Haryono 167 Malang 65145 Telp. (0341) 561080					DATA SONDIR		
Project : BS.6 Location : LODOYO TULUNGAGUNG Hole No. : S.4 Cut/Fill : - GWL : m Date : 1.- 08 - 2017					Koordinate x : 0603736 y : 9109004 Type Of Apparatus : 2.50 Ton Diperiksa /dikerjakan : Ketut Sugiharto.ST.MT Type Of Cone Unit : Biconus Sheet 1		
H (m)	qc (kg/cm ²)	JP (kg/cm ²)	Pg (kg/cm ²)	HP (kg/cm)	J.H.P (kg/cm)	HS (kg/cm ²)	FR (%)
0.00	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0
0.20	25	35	10	12.792	12.792	0.640	2.558
0.40	35	40	5	6.396	19.189	0.320	0.914
0.60	35	40	5	6.396	25.585	0.320	0.914
0.80	40	50	10	12.792	38.377	0.640	1.599
1.00	35	40	5	6.396	44.773	0.320	0.914
1.20	60	80	20	25.585	70.358	1.279	2.132
1.40	35	50	15	19.189	89.547	0.959	2.741
1.60	30	40	10	12.792	102.339	0.640	2.132
1.80	70	80	10	12.792	115.131	0.640	0.914
2.00	45	50	5	6.396	121.528	0.320	0.711
2.20	110	120	10	12.792	134.320	0.640	0.581
2.40	140	160	20	25.585	159.905	1.279	0.914
2.60	125	130	5	6.396	166.301	0.320	0.256
2.80	130	140	10	12.792	179.093	0.640	0.492
3.00	115	120	5	6.396	185.490	0.320	0.278
3.20	95	100	5	6.396	191.886	0.320	0.337
3.40	120	125	5	6.396	198.282	0.320	0.267
3.60	135	145	10	12.792	211.074	0.640	0.474
3.80	130	135	5	6.396	217.471	0.320	0.246
4.00	120	130	10	12.792	230.263	0.640	0.533
4.20	105	115	10	12.792	243.055	0.640	0.609
4.40	90	110	20	25.585	268.640	1.279	1.421
4.60	110	130	20	25.585	294.225	1.279	1.163
4.80	115	150	35	44.773	338.998	2.239	1.947
5.00	130	155	25	31.981	370.979	1.599	1.230
5.20	25	40	15	19.189	390.168	0.959	3.838
5.40	20	30	10	12.792	402.960	0.640	3.198
5.60	35	55	20	25.585	428.545	1.279	3.655
5.80	25	40	15	19.189	447.734	0.959	3.838
6.00	20	40	20	25.585	473.318	1.279	6.396
6.20	15	30	15	19.189	492.507	0.959	6.396
6.40	20	35	15	19.189	511.695	0.959	4.797
6.60	45	50	5	6.396	518.092	0.320	0.711
6.80	30	40	10	12.792	530.884	0.640	2.132
7.00	40	60	20	25.585	556.469	1.279	3.198
7.20	20	30	10	12.792	569.261	0.640	3.198
7.40	20	30	10	12.792	582.054	0.640	3.198
7.60	15	20	5	6.396	588.450	0.320	2.132

7.80	15	20	5	6.396	594.846	0.320	2.132
8.00	10	20	10	12.792	607.638	0.640	6.396
8.20	15	25	10	12.792	620.431	0.640	4.264
8.40	20	30	10	12.792	633.223	0.640	3.198
8.60	20	30	10	12.792	646.015	0.640	3.198
8.80	10	20	10	12.792	658.808	0.640	6.396
9.00	25	35	10	12.792	671.600	0.640	2.558
9.20	30	40	10	12.792	684.393	0.640	2.132
9.40	30	40	10	12.792	697.185	0.640	2.132
9.60	15	20	5	6.396	703.581	0.320	2.132
9.80	15	20	5	6.396	709.977	0.320	2.132
10.00	25	30	5	6.396	716.374	0.320	1.279
10.20	30	40	10	12.792	729.166	0.640	2.132
10.40	20	40	20	25.585	754.751	1.279	6.396
10.60	25	30	5	6.396	761.147	0.320	1.279
10.80	15	30	15	19.189	780.336	0.959	6.396
11.00	25	35	10	12.792	793.128	0.640	2.558
11.20	40	50	10	12.792	805.920	0.640	1.599
11.40	20	25	5	6.396	812.317	0.320	1.599
11.60	20	25	5	6.396	818.713	0.320	1.599
11.80	10	25	15	19.189	837.901	0.959	9.594
12.00	10	15	5	6.396	844.297	0.320	3.198
12.20	35	40	5	6.396	850.694	0.320	0.914
12.40	15	25	10	12.792	863.486	0.640	4.264
12.60	35	40	5	6.396	869.882	0.320	0.914
12.80	20	30	10	12.792	882.675	0.640	3.198
13.00	50	65	15	19.189	901.863	0.959	1.919
13.20	30	40	10	12.792	914.656	0.640	2.132
13.40	15	35	20	25.585	940.240	1.279	8.528
13.60	40	55	15	19.189	959.429	0.959	2.399
13.80	25	30	5	6.396	965.825	0.320	1.279
14.00	25	30	5	6.396	972.221	0.320	1.279
14.20	40	50	10	12.792	985.014	0.640	1.599
14.40	40	45	5	6.396	991.410	0.320	0.800
14.60	35	50	15	19.189	1010.598	0.959	2.741
14.80	20	30	10	12.792	1023.391	0.640	3.198
15.00	20	30	10	12.792	1036.183	0.640	3.198
15.20	25	40	15	19.189	1055.372	0.959	3.838
15.40	15	30	15	19.189	1074.560	0.959	6.396
15.60	50	65	15	19.189	1093.749	0.959	1.919
15.80	45	55	10	12.792	1106.541	0.640	1.421
16.00	45	55	10	12.792	1119.334	0.640	1.421
16.20	80	90	10	12.792	1132.126	0.640	0.800
16.40	60	70	10	12.792	1144.919	0.640	1.066
16.60	35	40	5	6.396	1151.315	0.320	0.914
16.80	45	50	5	6.396	1157.711	0.320	0.711
17.00	45	50	5	6.396	1164.107	0.320	0.711
17.20	65	70	5	6.396	1170.503	0.320	0.492
17.40	40	45	5	6.396	1176.900	0.320	0.800
17.60	20	30	10	12.792	1189.692	0.640	3.198
17.80	20	30	10	12.792	1202.484	0.640	3.198
18.00	40	50	10	12.792	1215.277	0.640	1.599
18.20	45	65	20	25.585	1240.861	1.279	2.843
18.40	25	30	5	6.396	1247.258	0.320	1.279
18.60	25	40	15	19.189	1266.446	0.959	3.838
18.80	30	40	10	12.792	1279.239	0.640	2.132
19.00	15	35	20	25.585	1304.823	1.279	8.528
19.20	25	45	20	25.585	1330.408	1.279	5.117
19.40	20	30	10	12.792	1343.201	0.640	3.198
19.60	20	30	10	12.792	1355.993	0.640	3.198

19.80	25	45	20	25.585	1381.578	1.279	5.117
20.00	25	30	5	6.396	1387.974	0.320	1.279
20.20	50	65	15	19.189	1407.162	0.959	1.919
20.40	20	35	15	19.189	1426.351	0.959	4.797
20.60	40	55	15	19.189	1445.540	0.959	2.399
20.80	30	55	25	31.981	1477.521	1.599	5.330
Dept. 20.80 m							





LAMPIRAN 5

DATA CPT S.5 LODOYO, KABUPATEN TULUNGAGUNG

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH					DATA SONDIR		
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA							
Jl. Mayjen Haryono 167 Malang 65145 Telp. (0341) 561080							
Project : BNJ				Koordinate x : 0602934 y : 9111875 Type Of Apparatus : 2.50 Ton Diperiksa /dikerjakan : Ketut Sugiharto.ST.MT Type Of Cone Unit : Biconus Sheet 1			
Location : LODOYO TULUNGAGUNG							
Hole No. : S.5							
Cut/Fill : -							
GWL : m							
Date : 31.- 10 - 2017							
H (m)	qc (kg/cm ²)	JP (kg/cm ²)	Pg (kg/cm ²)	HP (kg/cm)	J.H.P (kg/cm)	HS (kg/cm ²)	FR (%)
0.00	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0
0.20	15	20	5	6.396	6.396	0.320	2.132
0.40	20	25	5	6.396	12.792	0.320	1.599
0.60	30	35	5	6.396	19.189	0.320	1.066
0.80	30	45	15	19.189	38.377	0.959	3.198
1.00	40	50	10	12.792	51.170	0.640	1.599
1.20	25	30	5	6.396	57.566	0.320	1.279
1.40	40	55	15	19.189	76.754	0.959	2.399
1.60	25	45	20	25.585	102.339	1.279	5.117
1.80	110	140	30	38.377	140.716	1.919	1.744
2.00	100	130	30	38.377	179.093	1.919	1.919
2.20	40	50	10	12.792	191.886	0.640	1.599
2.40	25	30	5	6.396	198.282	0.320	1.279
2.60	80	90	10	12.792	211.074	0.640	0.800
2.80	100	120	20	25.585	236.659	1.279	1.279
3.00	80	90	10	12.792	249.452	0.640	0.800
3.20	75	90	15	19.189	268.640	0.959	1.279
3.40	50	65	15	19.189	287.829	0.959	1.919
3.60	30	35	5	6.396	294.225	0.320	1.066
3.80	30	40	10	12.792	307.017	0.640	2.132
4.00	30	40	10	12.792	319.810	0.640	2.132
4.20	25	35	10	12.792	332.602	0.640	2.558
4.40	20	25	5	6.396	338.998	0.320	1.599
4.60	40	75	35	44.773	383.772	2.239	5.597
4.80	60	75	15	19.189	402.960	0.959	1.599
5.00	75	85	10	12.792	415.753	0.640	0.853
5.20	80	95	15	19.189	434.941	0.959	1.199
5.40	100	110	10	12.792	447.734	0.640	0.640
5.60	110	120	10	12.792	460.526	0.640	0.581
5.80	125	135	10	12.792	473.318	0.640	0.512
6.00	140	145	5	6.396	479.714	0.320	0.228
6.20	115	130	15	19.189	498.903	0.959	0.834
6.40	100	120	20	25.585	524.488	1.279	1.279
6.60	100	115	15	19.189	543.676	0.959	0.959
6.80	95	115	20	25.585	569.261	1.279	1.347
7.00	75	80	5	6.396	575.657	0.320	0.426
7.20	70	85	15	19.189	594.846	0.959	1.371
7.40	80	95	15	19.189	614.035	0.959	1.199
7.60	100	120	20	25.585	639.619	1.279	1.279
7.80	100	115	15	19.189	658.808	0.959	0.959
8.00	110	115	5	6.396	665.204	0.320	0.291
8.20	125	140	15	19.189	684.393	0.959	0.768
8.40	135	140	5	6.396	690.789	0.320	0.237
8.60	90	120	30	38.377	729.166	1.919	2.132
8.80	85	115	30	38.377	767.543	1.919	2.257

9.00	125	145	20	25.585	793.128	1.279	1.023
9.20	150	165	15	19.189	812.317	0.959	0.640
9.40	175	180	5	6.396	818.713	0.320	0.183
9.60	185	190	5	6.396	825.109	0.320	0.173
9.80	185	195	10	12.792	837.901	0.640	0.346
10.00	175	195	20	25.585	863.486	1.279	0.731
10.20	195	200	5	6.396	869.882	0.320	0.164
10.40	215	225	10	12.792	882.675	0.640	0.297





Halaman ini sengaja dikosongkan



LAMPIRAN 6

DATA CPT S.6 LODOYO, KABUPATEN TULUNGAGUNG

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA Jl. Mayjen Haryono 167 Malang 65145 Telp. (0341) 561080					DATA SONDIR		
Project : BKO-11 Location : LODOYO-TULUNGAGUNG Hole No. : S.6 Cut/Fill : - GWL : m Date : 01.- 10 - 2017					Koordinate x : 0606983 y : 9095934 Type Of Apparatus : 2.50 Ton Diperiksa /dikerjakan : Ketut Sugiharto.ST.MT Type Of Cone Unit : Biconus Sheet 1		
H (m)	qc (kg/cm ²)	JP (kg/cm ²)	Pg (kg/cm ²)	HP (kg/cm)	J.H.P (kg/cm)	HS (kg/cm ²)	FR (%)
0.00	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0
0.20	2	5	3	3.838	3.838	0.192	9.594
0.40	5	10	5	6.396	10.234	0.320	6.396
0.60	5	10	5	6.396	16.630	0.320	6.396
0.80	10	15	5	6.396	23.026	0.320	3.198
1.00	10	15	5	6.396	29.422	0.320	3.198
1.20	5	10	5	6.396	35.819	0.320	6.396
1.40	5	10	5	6.396	42.215	0.320	6.396
1.60	5	10	5	6.396	48.611	0.320	6.396
1.80	10	15	5	6.396	55.007	0.320	3.198
2.00	5	10	5	6.396	61.403	0.320	6.396
2.20	5	10	5	6.396	67.800	0.320	6.396
2.40	5	10	5	6.396	74.196	0.320	6.396
2.60	5	10	5	6.396	80.592	0.320	6.396
2.80	15	20	5	6.396	86.988	0.320	2.132
3.00	10	15	5	6.396	93.384	0.320	3.198
3.20	5	10	5	6.396	99.781	0.320	6.396
3.40	5	10	5	6.396	106.177	0.320	6.396
3.60	10	15	5	6.396	112.573	0.320	3.198
3.80	5	10	5	6.396	118.969	0.320	6.396
4.00	5	10	5	6.396	125.365	0.320	6.396
4.20	5	10	5	6.396	131.762	0.320	6.396
4.40	5	10	5	6.396	138.158	0.320	6.396
4.60	5	10	5	6.396	144.554	0.320	6.396
4.80	5	10	5	6.396	150.950	0.320	6.396
5.00	5	10	5	6.396	157.346	0.320	6.396
5.20	5	10	5	6.396	163.743	0.320	6.396
5.40	5	10	5	6.396	170.139	0.320	6.396
5.60	5	10	5	6.396	176.535	0.320	6.396
5.80	10	15	5	6.396	182.931	0.320	3.198
6.00	10	15	5	6.396	189.327	0.320	3.198
6.20	5	10	5	6.396	195.724	0.320	6.396
6.40	10	15	5	6.396	202.120	0.320	3.198
6.60	10	15	5	6.396	208.516	0.320	3.198
6.80	5	10	5	6.396	214.912	0.320	6.396
7.00	5	10	5	6.396	221.308	0.320	6.396
7.20	5	10	5	6.396	227.704	0.320	6.396
7.40	5	10	5	6.396	234.101	0.320	6.396
7.60	5	10	5	6.396	240.497	0.320	6.396

7.80	10	15	5	6.396	246.893	0.320	3.198
8.00	10	15	5	6.396	253.289	0.320	3.198
8.20	10	15	5	6.396	259.685	0.320	3.198
8.40	15	20	5	6.396	266.082	0.320	2.132
8.60	15	20	5	6.396	272.478	0.320	2.132
8.80	25	30	5	6.396	278.874	0.320	1.279
9.00	25	35	10	12.792	291.666	0.640	2.558
9.20	15	25	10	12.792	304.459	0.640	4.264
9.40	15	30	15	19.189	323.647	0.959	6.396
9.60	10	20	10	12.792	336.440	0.640	6.396
9.80	10	20	10	12.792	349.232	0.640	6.396
10.00	15	20	5	6.396	355.628	0.320	2.132
10.20	15	25	10	12.792	368.421	0.640	4.264
10.40	25	30	5	6.396	374.817	0.320	1.279
10.60	20	25	5	6.396	381.213	0.320	1.599
10.80	15	20	5	6.396	387.609	0.320	2.132
11.00	10	15	5	6.396	394.005	0.320	3.198
11.20	5	10	5	6.396	400.402	0.320	6.396
11.40	5	10	5	6.396	406.798	0.320	6.396
11.60	5	10	5	6.396	413.194	0.320	6.396
11.80	5	10	5	6.396	419.590	0.320	6.396
12.00	5	10	5	6.396	425.986	0.320	6.396
12.20	2	5	3	3.838	429.824	0.192	9.594
12.40	2	5	3	3.838	433.662	0.192	9.594
12.60	2	5	3	3.838	437.500	0.192	9.594
12.80	10	15	5	6.396	443.896	0.320	3.198
13.00	10	15	5	6.396	450.292	0.320	3.198
13.20	15	20	5	6.396	456.688	0.320	2.132
13.40	15	20	5	6.396	463.084	0.320	2.132
13.60	15	20	5	6.396	469.481	0.320	2.132
13.80	25	30	5	6.396	475.877	0.320	1.279
14.00	20	25	5	6.396	482.273	0.320	1.599
14.20	20	25	5	6.396	488.669	0.320	1.599
14.40	25	30	5	6.396	495.065	0.320	1.279
14.60	25	35	10	12.792	507.858	0.640	2.558
14.80	25	35	10	12.792	520.650	0.640	2.558
15.00	20	30	10	12.792	533.442	0.640	3.198
15.20	15	25	10	12.792	546.235	0.640	4.264
15.40	15	25	10	12.792	559.027	0.640	4.264
15.60	15	30	15	19.189	578.216	0.959	6.396
15.80	10	20	10	12.792	591.008	0.640	6.396
16.00	10	20	10	12.792	603.801	0.640	6.396
16.20	15	20	5	6.396	610.197	0.320	2.132
16.40	15	20	5	6.396	616.593	0.320	2.132
16.60	10	15	5	6.396	622.989	0.320	3.198
16.80	10	15	5	6.396	629.385	0.320	3.198
17.00	10	15	5	6.396	635.782	0.320	3.198
17.20	5	10	5	6.396	642.178	0.320	6.396
17.40	5	10	5	6.396	648.574	0.320	6.396
17.60	5	10	5	6.396	654.970	0.320	6.396
17.80	5	10	5	6.396	661.366	0.320	6.396
18.00	5	10	5	6.396	667.763	0.320	6.396
18.20	5	10	5	6.396	674.159	0.320	6.396
18.40	10	15	5	6.396	680.555	0.320	3.198
18.60	10	15	5	6.396	686.951	0.320	3.198
18.80	10	15	5	6.396	693.347	0.320	3.198
19.00	10	20	10	12.792	706.140	0.640	6.396
19.20	15	25	10	12.792	718.932	0.640	4.264
19.40	15	25	10	12.792	731.724	0.640	4.264
19.60	20	30	10	12.792	744.517	0.640	3.198

19.80	25	35	10	12.792	757.309	0.640	2.558
20.00	35	40	5	6.396	763.705	0.320	0.914
20.20	43	50	7	8.955	772.660	0.448	1.041
20.40	60	70	10	12.792	785.452	0.640	1.066
20.60	35	70	35	44.773	830.226	2.239	6.396
20.80	50	65	15	19.189	849.414	0.959	1.919
Dept. 20.80 m							





LAMPIRAN 7

DATA CPT S.7 LODOYO, KABUPATEN TULUNGAGUNG

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA Jl. Mayjen Haryono 167 Malang 65145 Telp. (0341) 561080					DATA SONDIR		
Project : BKO-13 Location : LODOYO TULUNG AGUNG Hole No. : S.7 Cut/Fill : - GWL : m Date : 01.- 10 - 2017					Koordinate x : 0603642 y : 9096374 Type Of Apparatus : 2.50 Ton Diperiksa /dikerjakan : Ketut Sugiharto.ST.MT Type Of Cone Unit : Biconus Sheet 1		
H (m)	qc (kg/cm ²)	JP (kg/cm ²)	Pg (kg/cm ²)	HP (kg/cm)	J.H.P (kg/cm)	HS (kg/cm ²)	FR (%)
0.00	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0
0.20	2	5	3	3.838	3.838	0.192	9.594
0.40	2	5	3	3.838	7.675	0.192	9.594
0.60	2	5	3	3.838	11.513	0.192	9.594
0.80	2	5	3	3.838	15.351	0.192	9.594
1.00	5	10	5	6.396	21.747	0.320	6.396
1.20	10	15	5	6.396	28.143	0.320	3.198
1.40	10	15	5	6.396	34.539	0.320	3.198
1.60	10	20	10	12.792	47.332	0.640	6.396
1.80	15	30	15	19.189	66.520	0.959	6.396
2.00	25	30	5	6.396	72.917	0.320	1.279
2.20	10	10	0	0.000	72.917	0.000	0.000
2.40	5	10	5	6.396	79.313	0.320	6.396
2.60	5	10	5	6.396	85.709	0.320	6.396
2.80	5	10	5	6.396	92.105	0.320	6.396
3.00	5	10	5	6.396	98.501	0.320	6.396
3.20	5	10	5	6.396	104.898	0.320	6.396
3.40	5	10	5	6.396	111.294	0.320	6.396
3.60	2	5	3	3.838	115.131	0.192	9.594
3.80	2	5	3	3.838	118.969	0.192	9.594
4.00	2	5	3	3.838	122.807	0.192	9.594
4.20	2	5	3	3.838	126.645	0.192	9.594
4.40	2	5	3	3.838	130.482	0.192	9.594
4.60	2	5	3	3.838	134.320	0.192	9.594
4.80	2	5	3	3.838	138.158	0.192	9.594
5.00	2	5	3	3.838	141.995	0.192	9.594
5.20	2	5	3	3.838	145.833	0.192	9.594
5.40	2	5	3	3.838	149.671	0.192	9.594
5.60	5	10	5	6.396	156.067	0.320	6.396
5.80	5	10	5	6.396	162.463	0.320	6.396
6.00	5	10	5	6.396	168.859	0.320	6.396
6.20	5	10	5	6.396	175.256	0.320	6.396
6.40	5	10	5	6.396	181.652	0.320	6.396
6.60	5	10	5	6.396	188.048	0.320	6.396
6.80	5	10	5	6.396	194.444	0.320	6.396
7.00	10	15	5	6.396	200.840	0.320	3.198
7.20	10	15	5	6.396	207.237	0.320	3.198
7.40	10	15	5	6.396	213.633	0.320	3.198
7.60	15	20	5	6.396	220.029	0.320	2.132

7.80	15	20	5	6.396	226.425	0.320	2.132
8.00	15	25	10	12.792	239.218	0.640	4.264
8.20	25	30	5	6.396	245.614	0.320	1.279
8.40	35	40	5	6.396	252.010	0.320	0.914
8.60	35	45	10	12.792	264.802	0.640	1.827
8.80	45	50	5	6.396	271.199	0.320	0.711
9.00	25	35	10	12.792	283.991	0.640	2.558
9.20	25	30	5	6.396	290.387	0.320	1.279
9.40	20	30	10	12.792	303.180	0.640	3.198
9.60	20	30	10	12.792	315.972	0.640	3.198
9.80	15	35	20	25.585	341.557	1.279	8.528
10.00	15	20	5	6.396	347.953	0.320	2.132
10.20	15	25	10	12.792	360.745	0.640	4.264
10.40	10	25	15	19.189	379.934	0.959	9.594
10.60	10	15	5	6.396	386.330	0.320	3.198
10.80	10	15	5	6.396	392.726	0.320	3.198
11.00	10	25	15	19.189	411.915	0.959	9.594
11.20	10	20	10	12.792	424.707	0.640	6.396
11.40	15	20	5	6.396	431.103	0.320	2.132
11.60	15	20	5	6.396	437.500	0.320	2.132
11.80	20	25	5	6.396	443.896	0.320	1.599
12.00	20	25	5	6.396	450.292	0.320	1.599
12.20	15	20	5	6.396	456.688	0.320	2.132
12.40	5	10	5	6.396	463.084	0.320	6.396
12.60	5	10	5	6.396	469.481	0.320	6.396
12.80	5	10	5	6.396	475.877	0.320	6.396
13.00	5	10	5	6.396	482.273	0.320	6.396
13.20	5	10	5	6.396	488.669	0.320	6.396
13.40	2	5	3	3.838	492.507	0.192	9.594
13.60	2	5	3	3.838	496.345	0.192	9.594
13.80	2	5	3	3.838	500.182	0.192	9.594
14.00	2	5	3	3.838	504.020	0.192	9.594
14.20	2	5	3	3.838	507.858	0.192	9.594
14.40	2	5	3	3.838	511.695	0.192	9.594
14.60	2	5	3	3.838	515.533	0.192	9.594
14.80	2	5	3	3.838	519.371	0.192	9.594
15.00	2	5	3	3.838	523.209	0.192	9.594
15.20	5	10	5	6.396	529.605	0.320	6.396
15.40	5	10	5	6.396	536.001	0.320	6.396
15.60	5	10	5	6.396	542.397	0.320	6.396
15.80	5	10	5	6.396	548.793	0.320	6.396
16.00	5	10	5	6.396	555.190	0.320	6.396
16.20	10	15	5	6.396	561.586	0.320	3.198
16.40	10	15	5	6.396	567.982	0.320	3.198
16.60	15	20	5	6.396	574.378	0.320	2.132
16.80	15	20	5	6.396	580.774	0.320	2.132
17.00	15	25	10	12.792	593.567	0.640	4.264
17.20	15	25	10	12.792	606.359	0.640	4.264
17.40	15	20	5	6.396	612.755	0.320	2.132
17.60	10	15	5	6.396	619.151	0.320	3.198
17.80	10	15	5	6.396	625.548	0.320	3.198
18.00	25	30	5	6.396	631.944	0.320	1.279
18.20	35	40	5	6.396	638.340	0.320	0.914
18.40	45	50	5	6.396	644.736	0.320	0.711
18.60	50	60	10	12.792	657.529	0.640	1.279
18.80	55	65	10	12.792	670.321	0.640	1.163
19.00	70	75	5	6.396	676.717	0.320	0.457
19.20	70	75	5	6.396	683.113	0.320	0.457
19.40	40	55	15	19.189	702.302	0.959	2.399
19.60	30	40	10	12.792	715.094	0.640	2.132

19.80	25	30	5	6.396	721.491	0.320	1.279
20.00	20	25	5	6.396	727.887	0.320	1.599
20.20	15	20	5	6.396	734.283	0.320	2.132
20.40	15	20	5	6.396	740.679	0.320	2.132
20.60	10	15	5	6.396	747.075	0.320	3.198
20.80	10	15	5	6.396	753.472	0.320	3.198
Dept. 20.80 m							





LAMPIRAN 8

DATA CPT S.8 LODOYO, KABUPATEN TULUNGAGUNG

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA Jl. Mayjen Haryono 167 Malang 65145 Telp. (0341) 561080					DATA SONDIR		
Project : BKO-8-2 Location : LODOYO TULUNGAGUNG Hole No. : S.8 Cut/Fill : - GWL : m Date : 01.- 10 - 2017					Koordinate x : 0608668 y : 9097216 Type Of Apparatus : 2.50 Ton Diperiksa /dikerjakan : Ketut Sugiharto.ST.MT Type Of Cone Unit : Biconus Sheet 1		
H (m)	qc (kg/cm ²)	JP (kg/cm ²)	Pg (kg/cm ²)	HP (kg/cm)	J.H.P (kg/cm)	HS (kg/cm ²)	FR (%)
0.00	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0
0.20	2	5	3	3.838	3.838	0.192	9.594
0.40	2	5	3	3.838	7.675	0.192	9.594
0.60	2	5	3	3.838	11.513	0.192	9.594
0.80	2	5	3	3.838	15.351	0.192	9.594
1.00	5	10	5	6.396	21.747	0.320	6.396
1.20	5	10	5	6.396	28.143	0.320	6.396
1.40	2	5	3	3.838	31.981	0.192	9.594
1.60	2	5	3	3.838	35.819	0.192	9.594
1.80	2	5	3	3.838	39.656	0.192	9.594
2.00	2	5	3	3.838	43.494	0.192	9.594
2.20	2	5	3	3.838	47.332	0.192	9.594
2.40	2	5	3	3.838	51.170	0.192	9.594
2.60	2	5	3	3.838	55.007	0.192	9.594
2.80	2	5	3	3.838	58.845	0.192	9.594
3.00	2	5	3	3.838	62.683	0.192	9.594
3.20	2	5	3	3.838	66.520	0.192	9.594
3.40	5	10	5	6.396	72.917	0.320	6.396
3.60	5	10	5	6.396	79.313	0.320	6.396
3.80	5	10	5	6.396	85.709	0.320	6.396
4.00	5	10	5	6.396	92.105	0.320	6.396
4.20	5	10	5	6.396	98.501	0.320	6.396
4.40	5	10	5	6.396	104.898	0.320	6.396
4.60	10	15	5	6.396	111.294	0.320	3.198
4.80	10	15	5	6.396	117.690	0.320	3.198
5.00	10	20	10	12.792	130.482	0.640	6.396
5.20	10	25	15	19.189	149.671	0.959	9.594
5.40	10	20	10	12.792	162.463	0.640	6.396
5.60	10	20	10	12.792	175.256	0.640	6.396
5.80	10	15	5	6.396	181.652	0.320	3.198
6.00	10	15	5	6.396	188.048	0.320	3.198
6.20	5	10	5	6.396	194.444	0.320	6.396
6.40	5	10	5	6.396	200.840	0.320	6.396
6.60	5	10	5	6.396	207.237	0.320	6.396
6.80	5	10	5	6.396	213.633	0.320	6.396
7.00	10	15	5	6.396	220.029	0.320	3.198
7.20	10	15	5	6.396	226.425	0.320	3.198
7.40	15	20	5	6.396	232.821	0.320	2.132
7.60	15	20	5	6.396	239.218	0.320	2.132

7.80	15	20	5	6.396	245.614	0.320	2.132
8.00	15	20	5	6.396	252.010	0.320	2.132
8.20	25	30	5	6.396	258.406	0.320	1.279
8.40	25	35	10	12.792	271.199	0.640	2.558
8.60	20	30	10	12.792	283.991	0.640	3.198
8.80	20	35	15	19.189	303.180	0.959	4.797
9.00	35	45	10	12.792	315.972	0.640	1.827
9.20	30	40	10	12.792	328.764	0.640	2.132
9.40	25	35	10	12.792	341.557	0.640	2.558
9.60	20	30	10	12.792	354.349	0.640	3.198
9.80	20	30	10	12.792	367.141	0.640	3.198
10.00	20	25	5	6.396	373.538	0.320	1.599
10.20	20	35	15	19.189	392.726	0.959	4.797
10.40	40	45	5	6.396	399.122	0.320	0.800
10.60	45	50	5	6.396	405.519	0.320	0.711
10.80	55	60	5	6.396	411.915	0.320	0.581
11.00	50	60	10	12.792	424.707	0.640	1.279
11.20	50	65	15	19.189	443.896	0.959	1.919
11.40	45	50	5	6.396	450.292	0.320	0.711
11.60	35	40	5	6.396	456.688	0.320	0.914
11.80	30	40	10	12.792	469.481	0.640	2.132
12.00	25	35	10	12.792	482.273	0.640	2.558
12.20	20	30	10	12.792	495.065	0.640	3.198
12.40	20	35	15	19.189	514.254	0.959	4.797
12.60	15	20	5	6.396	520.650	0.320	2.132
12.80	15	20	5	6.396	527.046	0.320	2.132
13.00	15	25	10	12.792	539.839	0.640	4.264
13.20	10	15	5	6.396	546.235	0.320	3.198
13.40	10	15	5	6.396	552.631	0.320	3.198
13.60	5	10	5	6.396	559.027	0.320	6.396
13.80	5	10	5	6.396	565.423	0.320	6.396
14.00	5	10	5	6.396	571.820	0.320	6.396
14.20	5	10	5	6.396	578.216	0.320	6.396
14.40	5	10	5	6.396	584.612	0.320	6.396
14.60	10	15	5	6.396	591.008	0.320	3.198
14.80	10	15	5	6.396	597.404	0.320	3.198
15.00	10	20	10	12.792	610.197	0.640	6.396
15.20	15	20	5	6.396	616.593	0.320	2.132
15.40	15	20	5	6.396	622.989	0.320	2.132
15.60	15	25	10	12.792	635.782	0.640	4.264
15.80	25	35	10	12.792	648.574	0.640	2.558
16.00	25	40	15	19.189	667.763	0.959	3.838
16.20	30	40	10	12.792	680.555	0.640	2.132
16.40	15	25	10	12.792	693.347	0.640	4.264
16.60	15	20	5	6.396	699.744	0.320	2.132
16.80	15	25	10	12.792	712.536	0.640	4.264
17.00	20	30	10	12.792	725.328	0.640	3.198
17.20	20	30	10	12.792	738.121	0.640	3.198
17.40	25	35	10	12.792	750.913	0.640	2.558
17.60	30	35	5	6.396	757.309	0.320	1.066
17.80	40	60	20	25.585	782.894	1.279	3.198
18.00	45	75	30	38.377	821.271	1.919	4.264
18.20	55	75	20	25.585	846.856	1.279	2.326
18.40	50	65	15	19.189	866.045	0.959	1.919
18.60	45	50	5	6.396	872.441	0.320	0.711
18.80	40	50	10	12.792	885.233	0.640	1.599
19.00	25	30	5	6.396	891.629	0.320	1.279
19.20	15	20	5	6.396	898.025	0.320	2.132
19.40	15	20	5	6.396	904.422	0.320	2.132
19.60	10	15	5	6.396	910.818	0.320	3.198

19.80	10	15	5	6.396	917.214	0.320	3.198
20.00	5	10	5	6.396	923.610	0.320	6.396
20.20	5	10	5	6.396	930.006	0.320	6.396
20.40	10	20	10	12.792	942.799	0.640	6.396
20.60	10	15	5	6.396	949.195	0.320	3.198
20.80	10	15	5	6.396	955.591	0.320	3.198
Dept. 20.80 m							





LAMPIRAN 9

DATA CPT S.9 LODOYO, KABUPATEN TULUNGAGUNG

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA Jl. Mayjen Haryono 167 Malang 65145 Telp. (0341) 561080					DATA SONDIR		
Project : BDA-3-1 Location : LODOYO TULUNGAGUNG Hole No. : S.9 Cut/Fill : - GWL : m Date : 02.- 10 - 2017					Koordinate x : 0603362 y : 9103983 Type Of Apparatus : 2.50 Ton Diperiksa /dikerjakan : Ketut Sugiharto.ST.MT Type Of Cone Unit : Biconus Sheet 1		
H (m)	qc (kg/cm ²)	JP (kg/cm ²)	Pg (kg/cm ²)	HP (kg/cm)	J.H.P (kg/cm)	HS (kg/cm ²)	FR (%)
0.00	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0
0.20	2	5	3	3.838	3.838	0.192	9.594
0.40	5	10	5	6.396	10.234	0.320	6.396
0.60	5	10	5	6.396	16.630	0.320	6.396
0.80	10	15	5	6.396	23.026	0.320	3.198
1.00	10	15	5	6.396	29.422	0.320	3.198
1.20	15	20	5	6.396	35.819	0.320	2.132
1.40	15	20	5	6.396	42.215	0.320	2.132
1.60	20	25	5	6.396	48.611	0.320	1.599
1.80	15	20	5	6.396	55.007	0.320	2.132
2.00	5	10	5	6.396	61.403	0.320	6.396
2.20	5	10	5	6.396	67.800	0.320	6.396
2.40	5	10	5	6.396	74.196	0.320	6.396
2.60	5	10	5	6.396	80.592	0.320	6.396
2.80	5	10	5	6.396	86.988	0.320	6.396
3.00	5	10	5	6.396	93.384	0.320	6.396
3.20	5	10	5	6.396	99.781	0.320	6.396
3.40	5	10	5	6.396	106.177	0.320	6.396
3.60	5	10	5	6.396	112.573	0.320	6.396
3.80	5	10	5	6.396	118.969	0.320	6.396
4.00	5	10	5	6.396	125.365	0.320	6.396
4.20	5	10	5	6.396	131.762	0.320	6.396
4.40	10	15	5	6.396	138.158	0.320	3.198
4.60	10	15	5	6.396	144.554	0.320	3.198
4.80	10	15	5	6.396	150.950	0.320	3.198
5.00	10	15	5	6.396	157.346	0.320	3.198
5.20	15	20	5	6.396	163.743	0.320	2.132
5.40	15	20	5	6.396	170.139	0.320	2.132
5.60	15	20	5	6.396	176.535	0.320	2.132
5.80	15	20	5	6.396	182.931	0.320	2.132
6.00	20	25	5	6.396	189.327	0.320	1.599
6.20	25	30	5	6.396	195.724	0.320	1.279
6.40	30	40	10	12.792	208.516	0.640	2.132
6.60	20	30	10	12.792	221.308	0.640	3.198
6.80	15	20	5	6.396	227.704	0.320	2.132
7.00	15	20	5	6.396	234.101	0.320	2.132
7.20	15	20	5	6.396	240.497	0.320	2.132
7.40	15	20	5	6.396	246.893	0.320	2.132
7.60	10	20	10	12.792	259.685	0.640	6.396

7.80	10	15	5	6.396	266.082	0.320	3.198
8.00	5	10	5	6.396	272.478	0.320	6.396
8.20	5	10	5	6.396	278.874	0.320	6.396
8.40	5	10	5	6.396	285.270	0.320	6.396
8.60	5	10	5	6.396	291.666	0.320	6.396
8.80	5	10	5	6.396	298.063	0.320	6.396
9.00	5	10	5	6.396	304.459	0.320	6.396
9.20	5	10	5	6.396	310.855	0.320	6.396
9.40	5	10	5	6.396	317.251	0.320	6.396
9.60	5	10	5	6.396	323.647	0.320	6.396
9.80	5	10	5	6.396	330.044	0.320	6.396
10.00	10	15	5	6.396	336.440	0.320	3.198
10.20	10	15	5	6.396	342.836	0.320	3.198
10.40	10	15	5	6.396	349.232	0.320	3.198
10.60	25	35	10	12.792	362.025	0.640	2.558
10.80	25	30	5	6.396	368.421	0.320	1.279
11.00	20	30	10	12.792	381.213	0.640	3.198
11.20	20	30	10	12.792	394.005	0.640	3.198
11.40	15	20	5	6.396	400.402	0.320	2.132
11.60	15	20	5	6.396	406.798	0.320	2.132
11.80	15	25	10	12.792	419.590	0.640	4.264
12.00	10	15	5	6.396	425.986	0.320	3.198
12.20	10	15	5	6.396	432.383	0.320	3.198
12.40	10	15	5	6.396	438.779	0.320	3.198
12.60	20	30	10	12.792	451.571	0.640	3.198
12.80	20	35	15	19.189	470.760	0.959	4.797
13.00	15	20	5	6.396	477.156	0.320	2.132
13.20	15	20	5	6.396	483.552	0.320	2.132
13.40	10	20	10	12.792	496.345	0.640	6.396
13.60	10	15	5	6.396	502.741	0.320	3.198
13.80	5	10	5	6.396	509.137	0.320	6.396
14.00	5	10	5	6.396	515.533	0.320	6.396
14.20	5	10	5	6.396	521.929	0.320	6.396
14.40	5	10	5	6.396	528.326	0.320	6.396
14.60	5	10	5	6.396	534.722	0.320	6.396
14.80	5	10	5	6.396	541.118	0.320	6.396
15.00	5	10	5	6.396	547.514	0.320	6.396
15.20	10	15	5	6.396	553.910	0.320	3.198
15.40	15	20	5	6.396	560.307	0.320	2.132
15.60	15	25	10	12.792	573.099	0.640	4.264
15.80	15	25	10	12.792	585.891	0.640	4.264
16.00	15	20	5	6.396	592.287	0.320	2.132
16.20	20	25	5	6.396	598.684	0.320	1.599
16.40	20	35	15	19.189	617.872	0.959	4.797
16.60	35	50	15	19.189	637.061	0.959	2.741
16.80	35	50	15	19.189	656.249	0.959	2.741
17.00	45	50	5	6.396	662.646	0.320	0.711
17.20	45	55	10	12.792	675.438	0.640	1.421
17.40	50	60	10	12.792	688.230	0.640	1.279
17.60	35	40	5	6.396	694.627	0.320	0.914
17.80	25	35	10	12.792	707.419	0.640	2.558
18.00	20	35	15	19.189	726.608	0.959	4.797
18.20	2	5	3	3.838	730.445	0.192	9.594
18.40	15	25	10	12.792	743.238	0.640	4.264
18.60	15	20	5	6.396	749.634	0.320	2.132
18.80	15	20	5	6.396	756.030	0.320	2.132
19.00	10	15	5	6.396	762.426	0.320	3.198
19.20	10	15	5	6.396	768.822	0.320	3.198
19.40	10	15	5	6.396	775.219	0.320	3.198
19.60	5	10	5	6.396	781.615	0.320	6.396

19.80	5	10	5	6.396	788.011	0.320	6.396
20.00	5	10	5	6.396	794.407	0.320	6.396
20.20	10	15	5	6.396	800.803	0.320	3.198
20.40	10	15	5	6.396	807.200	0.320	3.198
20.60	20	25	5	6.396	813.596	0.320	1.599
20.80	20	35	15	19.189	832.784	0.959	4.797
Dept. 20.80 m							





LAMPIRAN 10

DATA CPT S.10 LODOYO, KABUPATEN TULUNGAGUNG

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA Jl. Mayjen Haryono 167 Malang 65145 Telp. (0341) 561080					DATA SONDIR		
Project : BDA-3-2 Location : LODOYO TULUNGAGUNG Hole No. : S.10 Cut/Fill : - GWL : m Date : 02.- 10 - 2017					Koordinate x : 0602376 y : 9104141 Type Of Apparatus : 2.50 Ton Diperiksa /dikerjakan : Ketut Sugiharto.ST.MT Type Of Cone Unit : Biconus Sheet 1		
H (m)	qc (kg/cm ²)	JP (kg/cm ²)	Pg (kg/cm ²)	HP (kg/cm)	J.H.P (kg/cm)	HS (kg/cm ²)	FR (%)
0.00	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0
0.20	5	10	5	6.396	6.396	0.320	6.396
0.40	5	10	5	6.396	12.792	0.320	6.396
0.60	10	15	5	6.396	19.189	0.320	3.198
0.80	10	15	5	6.396	25.585	0.320	3.198
1.00	5	10	5	6.396	31.981	0.320	6.396
1.20	5	10	5	6.396	38.377	0.320	6.396
1.40	5	10	5	6.396	44.773	0.320	6.396
1.60	5	10	5	6.396	51.170	0.320	6.396
1.80	5	10	5	6.396	57.566	0.320	6.396
2.00	10	15	5	6.396	63.962	0.320	3.198
2.20	10	15	5	6.396	70.358	0.320	3.198
2.40	10	15	5	6.396	76.754	0.320	3.198
2.60	10	15	5	6.396	83.151	0.320	3.198
2.80	15	20	5	6.396	89.547	0.320	2.132
3.00	5	10	5	6.396	95.943	0.320	6.396
3.20	5	10	5	6.396	102.339	0.320	6.396
3.40	5	10	5	6.396	108.735	0.320	6.396
3.60	5	10	5	6.396	115.131	0.320	6.396
3.80	5	10	5	6.396	121.528	0.320	6.396
4.00	10	15	5	6.396	127.924	0.320	3.198
4.20	10	15	5	6.396	134.320	0.320	3.198
4.40	10	15	5	6.396	140.716	0.320	3.198
4.60	15	20	5	6.396	147.112	0.320	2.132
4.80	15	20	5	6.396	153.509	0.320	2.132
5.00	15	20	5	6.396	159.905	0.320	2.132
5.20	10	15	5	6.396	166.301	0.320	3.198
5.40	10	15	5	6.396	172.697	0.320	3.198
5.60	10	15	5	6.396	179.093	0.320	3.198
5.80	5	10	5	6.396	185.490	0.320	6.396
6.00	5	10	5	6.396	191.886	0.320	6.396
6.20	5	10	5	6.396	198.282	0.320	6.396
6.40	5	10	5	6.396	204.678	0.320	6.396
6.60	5	10	5	6.396	211.074	0.320	6.396
6.80	5	10	5	6.396	217.471	0.320	6.396
7.00	5	10	5	6.396	223.867	0.320	6.396
7.20	5	10	5	6.396	230.263	0.320	6.396
7.40	10	15	5	6.396	236.659	0.320	3.198
7.60	10	15	5	6.396	243.055	0.320	3.198

7.80	10	15	5	6.396	249.452	0.320	3.198
8.00	15	25	10	12.792	262.244	0.640	4.264
8.20	15	25	10	12.792	275.036	0.640	4.264
8.40	15	25	10	12.792	287.829	0.640	4.264
8.60	20	25	5	6.396	294.225	0.320	1.599
8.80	25	30	5	6.396	300.621	0.320	1.279
9.00	25	35	10	12.792	313.413	0.640	2.558
9.20	30	40	10	12.792	326.206	0.640	2.132
9.40	35	40	5	6.396	332.602	0.320	0.914
9.60	35	40	5	6.396	338.998	0.320	0.914
9.80	35	45	10	12.792	351.791	0.640	1.827
10.00	40	45	5	6.396	358.187	0.320	0.800
10.20	40	45	5	6.396	364.583	0.320	0.800
10.40	50	65	15	19.189	383.772	0.959	1.919
10.60	45	55	10	12.792	396.564	0.640	1.421
10.80	40	45	5	6.396	402.960	0.320	0.800
11.00	40	50	10	12.792	415.753	0.640	1.599
11.20	35	40	5	6.396	422.149	0.320	0.914
11.40	25	30	5	6.396	428.545	0.320	1.279
11.60	15	20	5	6.396	434.941	0.320	2.132
11.80	15	20	5	6.396	441.337	0.320	2.132
12.00	15	25	10	12.792	454.130	0.640	4.264
12.20	10	15	5	6.396	460.526	0.320	3.198
12.40	10	15	5	6.396	466.922	0.320	3.198
12.60	10	15	5	6.396	473.318	0.320	3.198
12.80	10	15	5	6.396	479.714	0.320	3.198
13.00	10	15	5	6.396	486.111	0.320	3.198
13.20	10	15	5	6.396	492.507	0.320	3.198
13.40	10	15	5	6.396	498.903	0.320	3.198
13.60	5	10	5	6.396	505.299	0.320	6.396
13.80	5	10	5	6.396	511.695	0.320	6.396
14.00	5	10	5	6.396	518.092	0.320	6.396
14.20	5	10	5	6.396	524.488	0.320	6.396
14.40	5	10	5	6.396	530.884	0.320	6.396
14.60	5	10	5	6.396	537.280	0.320	6.396
14.80	5	10	5	6.396	543.676	0.320	6.396
15.00	10	15	5	6.396	550.073	0.320	3.198
15.20	10	15	5	6.396	556.469	0.320	3.198
15.40	10	15	5	6.396	562.865	0.320	3.198
15.60	15	20	5	6.396	569.261	0.320	2.132
15.80	15	25	10	12.792	582.054	0.640	4.264
16.00	10	15	5	6.396	588.450	0.320	3.198
16.20	10	15	5	6.396	594.846	0.320	3.198
16.40	10	15	5	6.396	601.242	0.320	3.198
16.60	10	15	5	6.396	607.638	0.320	3.198
16.80	15	20	5	6.396	614.035	0.320	2.132
17.00	15	25	10	12.792	626.827	0.640	4.264
17.20	20	25	5	6.396	633.223	0.320	1.599
17.40	25	35	10	12.792	646.015	0.640	2.558
17.60	25	40	15	19.189	665.204	0.959	3.838
17.80	25	40	15	19.189	684.393	0.959	3.838
18.00	20	35	15	19.189	703.581	0.959	4.797
18.20	20	30	10	12.792	716.374	0.640	3.198
18.40	25	30	5	6.396	722.770	0.320	1.279
18.60	15	25	10	12.792	735.562	0.640	4.264
18.80	15	25	10	12.792	748.355	0.640	4.264
19.00	15	25	10	12.792	761.147	0.640	4.264
19.20	10	15	5	6.396	767.543	0.320	3.198
19.40	10	15	5	6.396	773.939	0.320	3.198
19.60	10	10	0	0.000	773.939	0.000	0.000

19.80	5	10	5	6.396	780.336	0.320	6.396
20.00	5	10	5	6.396	786.732	0.320	6.396
20.20	5	10	5	6.396	793.128	0.320	6.396
20.40	5	10	5	6.396	799.524	0.320	6.396
20.60	5	10	5	6.396	805.920	0.320	6.396
20.80	5	10	5	6.396	812.317	0.320	6.396
Dept. 20.80 m							

