

**EVALUASI PERILAKU DAN VISKOSITAS
DARI MATERIAL PASIR KELANAUAN PADA
KONDISI TERLIKUIFAKSI DENGAN
MENGUNAKAN PIEZOCONE**

TESIS



Oleh:

Albert Johan

2017831020

Pembimbing 1:

Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D.

Pembimbing 2:

Budijanto Widjaja, Ph.D.

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

BANDUNG

SEPTEMBER 2021

HALAMAN PENGESAHAN

**EVALUASI PERILAKU DAN VISKOSITAS
DARI MATERIAL PASIR KELANAUAN PADA KONDISI
TERLIKUIFAKSI DENGAN MENGGUNAKAN PIEZOCONE**



Oleh:

Albert Johan

2017831020

Pembimbing 1:

Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D.

Pembimbing 2:

Budijanto Widjaja, Ph.D.

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
SEPTEMBER 2021**

PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini, saya dengan data diri sebagai berikut:

Nama : Albert Johan

NPM : 2017831020

Program Studi : Magister Teknik Sipil - Geoteknik

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa tesis dengan judul : "Evaluasi Perilaku dan Viskositas Material Pasir Kelanauan pada Kondisi Terlikuifaksi dengan Menggunakan Piezocone" adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan dosen pembimbing. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Dinyatakan : di Bandung

Tanggal : 16 September 2021



Albert Johan

EVALUASI PERILAKU DAN VISKOSITAS DARI MATERIAL PASIR KELANAUAN PADA KONDISI TERLIKUIFAKSI DENGAN PENGUJIAN PIEZOCONE

Albert Johan (NPM: 2017831020)

Pembimbing 1: Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D.

Pembimbing 2: Budijanto Widjaja, Ph.D.

Magister Teknik Sipil

Bandung

September 2021

ABSTRAK

Fenomena likuifaksi yang merupakan hilangnya kuat geser tanah berpasir jenuh menjadi salah satu perhatian utama bagi Indonesia dan dunia, terutama setelah terjadinya peristiwa likuifaksi di Palu akibat gempa Palu-Donggala. Belajar dari fenomena likuifaksi pasca gempa Palu-Donggala 28 September 2018 tersebut, banyak peneliti yang telah melakukan kajian mengenai likuifaksi dan *flow slide* seperti kajian mengenai potensi likuifaksi dengan menggunakan *piezocone* (CPTu), kajian mengenai dugaan mekanisme likuifaksi dengan cara pembuatan parit di daerah likuifaksi, kajian mengenai dugaan mekanisme *flow slide*, kajian mengenai pemodelan *flow slide*, kajian *back analysis* terhadap parameter reologi ketika *flow slide* terjadi, dll. Untuk melengkapi kajian fenomena likuifaksi tersebut, maka dilakukan studi eksperimental menggunakan *shake table*, *chamber*, *rod extruder*, dan CPTu untuk melihat perilaku dan untuk mengetahui parameter viskositas dari material tanah pasir kelanauan pada saat berada dalam kondisi terlikuifaksi. Dari hasil pengamatan terhadap perilaku material pasir kelanauan pada saat berada dalam kondisi terlikuifaksi, diketahui bahwa material pasir kelanauan akan mengalami peningkatan tekanan air pori eksek dan mengalami penurunan besaran tahanan ujung konus ketika berada dalam kondisi terlikuifaksi. Selain itu, diketahui pula bahwa gesekan selimut, kecepatan penetrasi CPTu, dan zona pengaruh dari CPTu pada saat mengalami penetrasi menjadi kunci utama dalam penentuan nilai viskositas pada saat material pasir kelanauan masih berperilaku sebagai likuid saat berada dalam kondisi terlikuifaksi.

Kata Kunci: Likuifaksi, Viskositas, Pasir Kelanauan, Shake Table, CPTu, Calibration Chamber

**EVALUATION OF BEHAVIOUR AND VISCOSITY
OF SILTY SAND MATERIAL IN LIQUEFIED CONDITION
BASED ON PIEZOCONE TEST**

Albert Johan (Student ID: 2017831020)

Adviser 1: Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D.

Adviser 2: Budijanto Widjaja, Ph.D.

Magister of Civil Engineering

Bandung

September 2021

ABSTRACT

Liquefaction, which is the loss of shear strength of saturated sandy soil, has become one of the primary concerns for Indonesia and the world, especially after the occurrence of liquefaction in Palu due to Palu-Donggala earthquake. Learning from the liquefaction phenomena after the Palu-Donggala earthquake event on 28 September 2018, many researchers have conducted liquefaction and flow slide study such as study on liquefaction potential using piezocone (CPTu), study on the liquefaction mechanism by making trenches in liquefaction area, study on flow slide mechanism, study on flow slide modeling, back analysis study on rheology parameters during flow slide, etc. In order to complete the study of the liquefaction phenomenon, an experimental study using shake table, chamber, rod extruder, and CPTu is conducted to do the evaluation of behaviour and viscosity of silty sand material in liquefied condition. Based on the observation of the behaviour of the silty sand material when it is in a liquefied condition, it is known that the silty sand material will experience an increase in excess pore pressure and a decrease in tip resistance when it is in a liquefied condition. In addition, it is also known that sleeve resistance, speed of penetration of the CPTu, and zone of influence due to CPTu penetration are the main keys in determining the viscosity when the silty sand material still behaves as a liquid when it is in a liquefied state.

Keywords: Liquefaction, Viscosity, Silty Sand, Shake Table, CPTu, Calibration Chamber

KATA PENGANTAR

Kesempatan belajar dan proses belajar merupakan sesuatu yang sangat berharga sehingga hendaknya harus disyukuri, dimanfaatkan sebaik-baiknya, dan tidak akan pernah selesai selama masih diberi kesempatan untuk hidup di muka bumi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang merupakan sumber ilmu pengetahuan dan kebijaksanaan atas kesempatan belajar yang masih diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan baik penulisan tesis ini.

Ucapan terima kasih penulis berikan kepada Prof. Paulus P. Rahardjo, Ph.D. selaku pembimbing dan sebagai pendidik yang telah memberikan pengalaman, kesempatan, dan memotivasi penulis dalam proses belajar terutama dalam bidang Geoteknik. Demikian juga kepada Budijanto Widjaja, Ph.D. selaku ko-pembimbing, Aswin Lim, Ph.D., dan Dr. Rinda Karlinasari selaku pembahas dan penguji yang telah memberikan masukan dan arahan selama proses penyusunan tesis ini. Tak terlupakan juga untuk Ir. Anastasia Sri Lestari, MT. selaku kepala Laboratorium Geoteknik Universitas Katolik Parahyangan yang telah mengizinkan penulis dalam penggunaan laboratorium, peminjaman alat laboratorium, dan membantu penulis dalam pembuatan alat pengujian hingga pelaksanaan pengujian penelitian ini.

Dalam penulisan tesis ini disadari banyak bantuan moril dan materiil dari berbagai pihak, pertama kepada Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan bantuan berupa beasiswa studi Magister & dana dalam pembuatan alat *shake table, chamber, rod extruder* yang digunakan dalam

penelitian tesis ini, kedua kepada PT Geotechnical Engineering Consultant atas fasilitas dan bantuan berupa kesempatan untuk melakukan kunjungan lapangan ke area tinjauan peneliti, izin untuk menggunakan alat *piezocone*, dan bantuan dana dalam pembuatan perlengkapan penunjang dalam penelitian ini, ketiga kepada Tim Puslitbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan) yang telah memberikan data-data penunjang dalam penelitian tesis ini, keempat kepada PT Putra Dwi Mandiri yang telah meminjamkan perlengkapan penunjang pada penelitian ini. Kepada semua pihak-pihak tersebut, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Rasa terima kasih dan hormat kepada Daddy, Mami, seluruh anggota keluarga, Ko David Virya Chen & Keluarga, Ko Sandhi Kwani, Ryan Alexander Lyman, Vinna Fransiska Chou, atas semua perhatian, bantuan, dan kasih sayang yang telah diberikan. Selain itu, tentunya juga dukungan dari rekan-rekan PT Geotechnical Engineering Consultant, dan teman-teman yang telah memberikan bantuan, motivasi, dan terus memberikan dukungan moral kepada penulis untuk menyelesaikan penulisan tesis ini.

Sebagai penutup, semoga hasil penelitian tesis ini dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya dan dapat digunakan untuk mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang Geoteknik. Akhir kata, kritik maupun saran sangat diharapkan oleh peneliti agar hasil penelitian ini dapat lebih disempurnakan dan dapat dikaji lebih lanjut secara komprehensif.

Bandung, September 2021

Penulis

Albert Johan

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Inti Permasalahan	4
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian	4
1.4 Lingkup Penelitian	5
1.5 Metode Penelitian	5
1.5.1 Studi Literatur	5
1.5.2 Pengambilan Data Lapangan	6
1.5.3 Penelitian Eksperimental	6
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB 2 STUDI PUSTAKA	9
2.1 Pendahuluan	9
2.2 Studi Terdahulu Mengenai Likuifaksi	11
2.3 Studi Terdahulu Mengenai Potensi Likuifaksi	12
2.4 Studi Terdahulu Mengenai Ratio Tekanan Air Pori Ekses	17
2.5 Studi Terdahulu Mengenai Reologi	20
2.6 Studi Terdahulu Mengenai Jenis Fluida	21
2.7 Studi Terdahulu Mengenai Penentuan Viskositas Material Tanah	24

2.8	Studi Terdahulu Mengenai Efek <i>Viscous</i> pada Penetrasi <i>Shaft</i>	30
2.9	Studi Terdahulu Mengenai Piezocone	36
2.10	Studi Terdahulu Mengenai Pengukuran Tekanan Air Pori pada Pengujian Piezocone	40
2.11	Studi Terdahulu Mengenai <i>Scaling Effect</i> pada Pengujian Piezocone	41
2.12	Studi Terdahulu Mengenai <i>Shake Table</i>	44
2.13	Studi Terdahulu Mengenai Calibration Chamber	44
2.14	Studi Terdahulu Mengenai Persiapan Sampel Butiran Kasar	46
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		49
3.1	Pendahuluan	49
3.2	Pengambilan Sampel Tanah pada Area Terdampak <i>Flow Liquefaction</i>	49
3.3	Pengujian Laboratorium	50
3.4	Pembuatan <i>Shake Table</i>	50
3.5	Pembuatan <i>Chamber</i>	51
3.6	Persiapan Sampel Butiran Kasar	53
3.7	Pengujian Piezocone (CPTu)	56
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN		63
4.1	Pendahuluan	63
4.2	Kronologi Likuifaksi dan Pergerakan Tanah di Desa Sibalaya	63
4.3	Hasil Kunjungan Lapangan	66
4.4	Kondisi Geologi dan Kondisi Tanah	70
4.4.1	Kondisi Geologi	70

4.4.2	Kondisi Tanah	71
4.5	Data Kegempaan	78
4.6	Kajian Potensi Likuifaksi	80
4.6.1	Kriteria Histori	80
4.6.2	Kriteria Geologi	81
4.6.3	Kriteria Komposisi	81
4.6.4	<i>State Criteria</i>	82
4.7	Kajian Perilaku Material Sampel Tanah dalam Kondisi Dinamik	84
4.8	Penentuan Nilai Viskositas Material Sampel Tanah pada Kondisi Terlikuifaksi	102
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		105
5.1	Kesimpulan	105
5.2	Saran	108
DAFTAR PUSTAKA		111

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

CSR	: <i>cyclic stress ratio</i> / rasio tegangan siklik
M	: magnitudo gempa (M_w)
a_{max}	: percepatan gempa maksimum (g)
σ_v	: tegangan vertikal total (kPa)
σ_v'	: tegangan vertikal efektif (kPa)
r_d	: koefisien reduksi kedalaman, sebesar $1 - 0.015 z$
z	: kedalaman tanah
CRR	: <i>cyclic resistance ratio</i> / rasio tahanan siklik
q_c	: tahanan ujung konus (kg/cm^2)
c_2	: 1 jika material tanah berupa pasir bersih dengan $D_{50} \geq 0.25$ mm
FS	: faktor keamanan
CPT	: cone penetration test
SPT	: standard penetration test
V_s	: shear wave velocity
r_u	: ratio tekanan air pori
ΔU	: tekanan air pori eksese
σ	: normal stress
ε	: volumetric strain
τ	: shear stress
γ	: shear strain
$\dot{\gamma}$: shear rate
F	: gaya tangensial
A	: area
η	: viskositas
LI	: liquidity index

D_r	: kepadatan relatif
FBT	: flow box test
τ_y	: yield stress
τ_{cs}	: komponen critical state shear stress
τ_v	: komponen viscous
f_{ss}	: friksi selimut dalam kondisi statik
f_{sv}	: friksi selimut dalam kondisi viscous
β_o	: zona area critical state
λ_o	: ratio antara jari-jari zona area critical state terhadap jari-jari konus
CPTu	: cone penetration test with pore water pressure measurement)
Bq	: pore pressure parameter
Qt	: corrected cone resistance
Fr	: friction ratio
w	: kadar air
γ	: berat isi
γ_d	: berat isi kering
e_{maks}	: angka pori maksimum
e_{min}	: angka pori minimum
$\gamma_d \text{ maks}$: berat isi kering maksimum
$\gamma_d \text{ min}$: berat isi kering minimum
w_{target}	: kadar air target
JICA	: Japan International Cooperation Agency
BMKG	: Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika
EW	: East West
NS	: North South
UD	: Up Down
d	: hiposenter
a_x	: akselerasi arah x
a_y	: akselerasi arah y

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Zona Kerentanan <i>Flow liquefaction</i> dan Diagram <i>Stress Path Flow Liquefaction</i> yang Diinisiasi oleh Beban Siklik	2
Gambar 2.1 Kegagalan Bangunan Akibat Likuifaksi di Niigata (Niigata Nippo Newspaper, 1964).....	9
Gambar 2.2 Kegagalan Bangunan Akibat Likuifaksi di Alaska (U.S. Army, 1964)	10
Gambar 2.3 Hubungan Antara Besar Magnitudo Gempa Terhadap Jarak Fenomena Likuifaksi yang Terobservasi (Ambraseys, 1988).....	13
Gambar 2.4 Shake Table pada BPCB Candi Prambanan (Mase, 2017).....	18
Gambar 2.5 Ratio Tekanan Air Pori Ekses Terhadap Waktu Saat Pemberian Dinamik Sebesar 0.3 g (Mase, 2017)	19
Gambar 2.6 Ratio Tekanan Air Pori Ekses Terhadap Waktu Saat Pemberian Dinamik Sebesar 0.35 g (Mase, 2017)	19
Gambar 2.7 Ratio Tekanan Air Pori Ekses Terhadap Waktu Saat Pemberian Dinamik Sebesar 0.4 g (Mase, 2017)	19
Gambar 2.8 Deformasi yang Terjadi Akibat <i>Shear Stress</i> pada Elemen Tanah....	20
Gambar 2.9 Pergerakan Partikel Terhadap <i>Shear Flow</i> dan <i>Extensional Flow</i> (Barnes, 2000)	21
Gambar 2.10 Perilaku Aliran Fluida Newtonian	22
Gambar 2.11 Perilaku Aliran Fluida Non-Newtonian.....	22
Gambar 2.12 Perilaku Fluida <i>Pseudoplastic</i>	23
Gambar 2.13 Perilaku Fluida <i>Dilatant</i>	23

Gambar 2.14 Perilaku Fluida <i>Bingham Plastic</i> dan <i>Viscoplastic</i>	23
Gambar 2.15 Sketsa Model <i>Flume Channel</i> (Vallejo dan Scovazzo, 2003).....	25
Gambar 2.16 Hubungan Viskositas dan Kadar Air pada Material Lumpur (Vallejo dan Scovazzo, 2003)	25
Gambar 2.17 Time History dari Ratio Tegangan Air Pori Ekses (Chen et al., 2013)	26
Gambar 2.18 Sketsa Model <i>Test Box</i> (Chen et al., 2013)	27
Gambar 2.19 Hubungan Viskositas dan Raio Tekanan Air Pori Ekses pada Material Tanah Pasir (Chen at al., 2013).....	27
Gambar 2.20 Sketsa Model <i>Flow Box Test</i> (Widjaja dan Lee, 2013).....	29
Gambar 2.21 Hubungan Viskositas dan Liquidity Index pada Material Tanah Lempung (Widjaja dan Lee, 2013)	29
Gambar 2.22 Kondisi Tanah pada Area Ujung Konus (Mahajan, 2006).....	30
Gambar 2.23 Tanah pada Area Ujung Konus akan Mengalir Melalui Sekeliling Permukaan <i>Shaft</i> (Mahajan, 2006).....	31
Gambar 2.24 Zona Pengaruh Penetrasi <i>Shaft</i> pada Tanah Lunak (Zeevart, 1948)	32
Gambar 2.25 Gaya yang Bekerja pada Saat Penetrasi <i>Shaft</i> (Mahajan, 2006)	33
Gambar 2.26 Profil Kecepatan pada Saat Penetrasi <i>Shaft</i> (Mahajan, 2006).....	34
Gambar 2.27 Hubungan Zona <i>Area Critical State</i> (λ_0) Terhadap Parameter β_0 ..	36
Gambar 2.28 Sketsa Konfigurasi Alat Piezocone (Zuidberg, 1988).....	37
Gambar 2.29 Pengukuran 4 Hal Pokok dalam Pengujian CPTu.....	38
Gambar 2.30 Faktor Koreksi Tekanan Air Pori (Lunne, Robertson, Powell, 1997)	38
Gambar 2.31 Klasifikasi Jenis Tanah (Senneset dan Janbu, 1984).....	39

Gambar 2.32 Grafik Hubungan Antara <i>Corrected Cone Resistance</i> (q_c) Terhadap Nilai <i>Pore Pressure Parameter</i> (Bq) dan <i>Friction Ratio</i> (FR) (Robertson et al., 1986).....	39
Gambar 2.33 Letak Filter Elemen Batu Pori pada Konus CPTu (Sumber : Geomil Equipment)	40
Gambar 2.34 Respon Tekanan Air Pori Saat CPTu Dalam Kondisi Disipasi Setelah Penusukan Konus (Voyiadjis dan Song, 2003)	41
Gambar 2.35 Hasil Penetrasi Konus dengan Diameter yang Berbeda-Beda pada Tanah Pasir Lepas dan Pasir Padat (Kersiel, 1958).....	42
Gambar 2.36 <i>Calibration Chamber Effect</i> untuk Pasir Hokksund and Ticino (Jamiolkowski, 1985)	43
Gambar 2.37 Limitasi pada Pemodelan <i>Calibration Chamber</i> (Jamiolkowski et al., 1985).....	46
Gambar 3.1 Lokasi Titik Pengambilan Sampel pada Area Terdampak <i>Flow Liquefaction</i> di Desa Sibalaya	50
Gambar 3.2 Dokumentasi <i>Shake Table</i>	51
Gambar 3.3 Dokumentasi <i>Chamber</i> , Lubang Buret, dan Lubang Kuras	52
Gambar 3.4 Dokumentasi Tahapan Konsolidasi Material Tanah Akibat Berat Sampel Tanah Sendiri.....	56
Gambar 3.5 Dokumentasi Tahap Pengecekan <i>Zero Calibration</i>	58
Gambar 3.6 Dokumentasi Setting Kedalaman Konus pada Kedalaman 20 cm	58
Gambar 3.7 Dokumentasi <i>Rod Extruder</i>	59
Gambar 3.8 Dokumentasi Pemberian Beban <i>Surcharge</i> pada Material Sampel Tanah	60

Gambar 3.9 Dokumentasi Sampel Tanah yang Mengalami Likuifaksi	61
Gambar 4.1 Lokasi Titik Pusat 10 Gempa Besar yang Terjadi pada Tanggal 28 September 2018.....	64
Gambar 4.2 Hasil Plot 10 Gempa Besar Terhadap Kurva Ambrasseys.....	64
Gambar 4.3 Lokasi Tinjauan Saat Kunjungan Lapangan	66
Gambar 4.4 Kondisi Saluran Irigasi Gumbasa (Dok. 17-03-19)	67
Gambar 4.5 Kondisi Area SD Inpres Sibalaya Selatan (Dok. 17-03-19).....	68
Gambar 4.6 Kondisi Area Lapangan Sibalaya Selatan (Dok. 17-03-19).....	68
Gambar 4.7 Kondisi Area Pemukiman Penduduk (Dok. 17-03-19)	69
Gambar 4.8 Kondisi Area Deposisi (Dok. 17-03-19)	69
Gambar 4.9 Kondisi Area Persawahan (Dok. 17-03-19)	70
Gambar 4.10 Kondisi Geologi Desa Sibalaya (Soehaimi et al., 2000)	71
Gambar 4.11 Kondisi Tanah Pasiran Lepas di Area Transposisi dan Deposisi (Dok. 17-03-19).....	71
Gambar 4.12 Lokasi Titik Penyelidikan Geoteknik pada Area Terdampak <i>Flow Liquefaction</i> di Desa Sibalaya.....	72
Gambar 4.13 Interpretasi Stratifikasi Tanah Berdasarkan Hasil Pengeboran Dalam	73
Gambar 4.14 Interpretasi Stratifikasi Tanah Berdasarkan Hasil Pengujian Sondir	74
Gambar 4.15 Hasil Pengujian CPTu-01	75
Gambar 4.16 Hasil Pengujian CPTu-02.....	75
Gambar 4.17 Hasil Pengujian CPTu-03.....	76
Gambar 4.18 Hasil Pengujian CPTu-04.....	76

Gambar 4.19 Gradasi Butiran Tanah pada Sampel S-01, S-02, S-03, S-04, S-05.	77
Gambar 4.20 Grafik <i>Acceleration Waveform</i> Gempa Palu-Donggala untuk Arah <i>East West</i> (JICA-BMKG, 2018).....	78
Gambar 4.21 Grafik <i>Acceleration Waveform</i> Gempa Palu-Donggala untuk Arah <i>North South</i> (JICA-BMKG, 2018)	78
Gambar 4.22 Grafik <i>Acceleration Waveform</i> Gempa Palu-Donggala untuk Arah <i>Up Down</i> (JICA-BMKG, 2018)	79
Gambar 4.23 Kurva Hubungan Jarak <i>Epicenter</i> Terhadap <i>Moment Magnitude</i> ...	80
Gambar 4.24 <i>Chart</i> Gradasi Ukuran Butiran Tanah yang Rentan Mengalami Likuifaksi (Tsuchida, 1970)	81
Gambar 4.25 Hasil Kajian Zona Potensi Likuifaksi Titik CPTu-01	82
Gambar 4.26 Hasil Kajian Zona Potensi Likuifaksi Titik CPTu-02	83
Gambar 4.27 Hasil Kajian Zona Potensi Likuifaksi Titik CPTu-03	83
Gambar 4.28 Hasil Kajian Zona Potensi Likuifaksi Titik CPTu-04	84
Gambar 4.29 Gradasi Butiran Tanah pada Sampel Tanah Campuran.....	85
Gambar 4.30 Gradasi Butiran Tanah Sampel Tanah Campuran pada Batasan Gradasi Butiran Tanah yang Rentan Mengalami Likuifaksi (Tsuchida, 1970).....	86
Gambar 4.31 Input Beban Dinamik pada Arah X Terhadap Waktu pada Pengujian Pertama	87
Gambar 4.32 Detail dari Input Beban Dinamik pada Arah X Terhadap Waktu pada Pengujian Pertama	88
Gambar 4.33 Input Beban Dinamik pada Arah Y Terhadap Waktu pada Pengujian Pertama	88

Gambar 4.34 Detail dari Input Beban Dinamik pada Arah Y Terhadap Waktu pada Pengujian Pertama.....	88
Gambar 4.35 Perilaku Tekanan Air Pori Terhadap Waktu pada Tahap Pemberian Beban <i>Surcharge</i> [Pengujian Pertama]	90
Gambar 4.36 Perilaku Tahanan Ujung Konus Terhadap Waktu pada Tahap Pemberian Beban <i>Surcharge</i> [Pengujian Pertama]	91
Gambar 4.37 Perilaku Tekanan Air Pori Terhadap Waktu pada Tahap Pemberian Beban Dinamik [Pengujian Pertama].....	92
Gambar 4.38 Perilaku Ratio Tekanan Air Pori Ekses Terhadap Waktu pada Tahap Pemberian Beban Dinamik [Pengujian Pertama].....	93
Gambar 4.39 Perilaku Tahanan Ujung Konus Terhadap Waktu pada Tahap Pemberian Beban Dinamik [Pengujian Pertama].....	94
Gambar 4.40 Nilai Tahanan Ujung Konus Terhadap Kedalaman pada Pengujian Kedua	96
Gambar 4.41 Input Beban Dinamik pada Arah X Terhadap Waktu pada Pengujian Kedua	96
Gambar 4.42 Detail dari Input Beban Dinamik pada Arah X Terhadap Waktu pada Pengujian Kedua	97
Gambar 4.43 Input Beban Dinamik pada Arah Y Terhadap Waktu pada Pengujian Kedua	97
Gambar 4.44 Detail dari Input Beban Dinamik pada Arah Y Terhadap Waktu pada Pengujian Kedua	97
Gambar 4.45 Perilaku Tekanan Air Pori Terhadap Waktu pada Tahap Pemberian Beban <i>Surcharge</i> [Pengujian Kedua].....	98

Gambar 4.46 Perilaku Tekanan Air Pori Terhadap Waktu pada Tahap Pemberian Beban Dinamik [Pengujian Kedua]	100
Gambar 4.47 Perilaku Ratio Tekanan Air Pori Ekses Terhadap Waktu pada Tahap Pemberian Beban Dinamik [Pengujian Kedua]	100
Gambar 4.48 Nilai Tahanan Ujung Konus dan Friksi Selimut Terhadap Kedalaman Pasca Pemberian Beban Dinamik pada Pengujian Kedua.....	101
Gambar 4.49 Nilai Friksi Selimut pada Pengujian Kedua Pasca Pemberian Beban Dinamik	102
Gambar 4.50 Nilai Viskositas Terhadap Kedalaman Pasca Pemberian Beban Dinamik pada Pengujian Kedua	103

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Lokasi Pemasangan Buret dan Konus CPTu	52
Tabel 3.2 Resume Kadar Air, Berat Isi, dan Berat Isi Kering Awal.....	53
Tabel 3.3 Spesifikasi Material Sampel Tanah Desa Sibalaya.....	54
Tabel 3.4 Resume Target Kadar Air Slurry pada Setiap Pengujian.....	54
Tabel 4.1 Resume Besaran Magnitudo pada 4 Gempa Besar yang	65
Tabel 4.2 Rekapitulasi Lokasi Tinjauan Saat Kunjungan Lapangan	66
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis pada Material Sampel Tanah	77
Tabel 4.4 Persentase Distribusi Butiran Tanah pada Sampel Tanah Campuran....	85
Tabel 4.5 Besaran Input Beban Dinamik pada Pengujian Pertama	87
Tabel 4.6 Besaran Input Beban Dinamik pada Pengujian Kedua	96

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengeboran Dalam BH-01 (Sumber : Pusjatan)	127
Lampiran 2. Hasil Pengeboran Dalam BH-02 (Sumber : Pusjatan)	128
Lampiran 3. Hasil Pengujian Sondir S-1 (Sumber : Pusjatan)	129
Lampiran 4. Rekap Data Pengujian Sondir S-1 (Sumber : Pusjatan)	130
Lampiran 5. Rekap Data Pengujian Sondir S-1A (Sumber : Pusjatan)	131
Lampiran 6. Hasil Pengujian Sondir S-2 (Sumber : Pusjatan)	132
Lampiran 7. Rekap Data Pengujian Sondir S-2 (Sumber : Pusjatan)	133
Lampiran 8. Hasil Pengujian Sondir S-3 (Sumber : Pusjatan)	134
Lampiran 9. Rekap Data Pengujian Sondir S-3 (Sumber : Pusjatan)	135
Lampiran 10. Dokumentasi Pengeboran Dalam BH-01 (Sumber : Pusjatan)	136
Lampiran 11. Dokumentasi Pengeboran Dalam BH-01 (Sumber : Pusjatan)	137
Lampiran 12. Dokumentasi Pengujian Sondir S-1 ; S-1A (Sumber : Pusjatan) ..	138
Lampiran 13. Dokumentasi Pengujian Sondir S-2 (Sumber : Pusjatan)	139
Lampiran 14. Dokumentasi Pengujian Sondir S-3 (Sumber : Pusjatan)	140
Lampiran 15. Dokumentasi Corebox Titik Pengeboran Dalam BH-01 (Sumber : Pusjatan)	142
Lampiran 16. Dokumentasi Corebox Titik Pengeboran Dalam BH-02 (Sumber : Pusjatan)	144
Lampiran 17. Dokumentasi Patok Titik Bor BH-01 (Sumber : Pusjatan)	145
Lampiran 18. Dokumentasi Patok Titik Bor S-1 (Sumber : Pusjatan)	146
Lampiran 19. Dokumentasi Patok Titik Bor S-2 (Sumber : Pusjatan)	147
Lampiran 20. Dokumentasi Patok Titik Bor S-3 (Sumber : Pusjatan)	148

Lampiran 21. Hasil Pengujian CPTu-01 (Sumber : Universitas Katolik Parahyangan).....	150
Lampiran 22. Hasil Pengujian CPTu-02 (Sumber : Universitas Katolik Parahyangan).....	151
Lampiran 23. Hasil Pengujian CPTu-03 (Sumber : Universitas Katolik Parahyangan).....	152
Lampiran 24. Hasil Pengujian CPTu-04 (Sumber : Universitas Katolik Parahyangan).....	153
Lampiran 25. Hasil Pengujian Saringan Sampel S-01	156
Lampiran 26. Hasil Pengujian Saringan Sampel S-02	157
Lampiran 27. Hasil Pengujian Saringan Sampel S-03	158
Lampiran 28. Hasil Pengujian Saringan Sampel S-04	159
Lampiran 29. Hasil Pengujian Saringan Sampel S-05	160

BAB 1

PENDAHULUAN

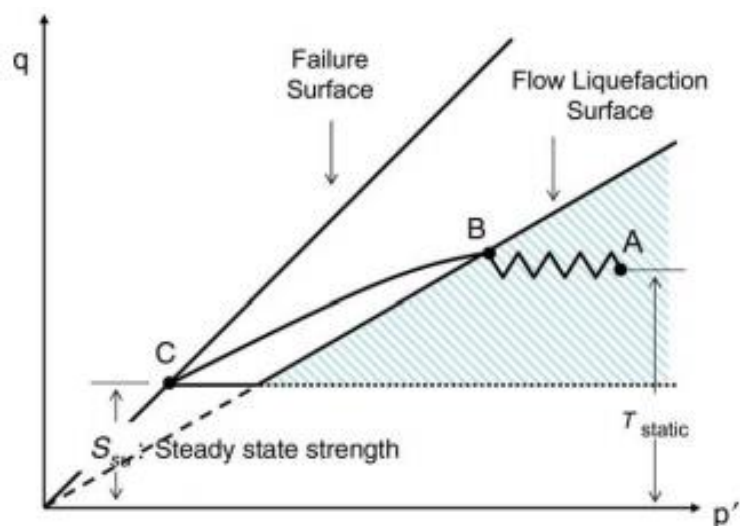
1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, likuifaksi menjadi salah satu sorotan bagi segelintir masyarakat Indonesia maupun dunia khususnya setelah fenomena likuifaksi yang terjadi di Palu. Fenomena likuifaksi yang terjadi di Palu tersebut mendapatkan perhatian khusus karena telah berhasil memporak-porandakan infrastruktur maupun perumahan dalam skala yang besar sehingga membuat efek kejutan terhadap masyarakat, khususnya mereka yang mengalami langsung atau melihat langsung kejadian tersebut.

Istilah likuifaksi pada awalnya diperkenalkan oleh Mogami dan Kubo (1953) sebagai istilah yang menunjukkan fenomena pergerakan tanah yang disebabkan oleh beban monotonik maupun dinamik pada tanah butir kasar yang jenuh air dan berada dalam kondisi tak teralir. Terzaghi dan Peck (1967) mendeskripsikan likuifaksi sebagai hilangnya kuat geser tanah pasir yang memiliki kepadatan lepas dan dapat mengakibatkan longsoran aliran jika diberi gangguan eksternal. Peningkatan air pori eksese dalam kondisi tak teralir yang mengakibatkan penurunan tegangan vertikal efektif merupakan penyebab utama terjadinya fenomena likuifaksi. Fenomena likuifaksi dapat dibagi 2 tipe, yaitu *flow liquefaction* dan *cyclic mobility*. Pada umumnya *flow liquefaction* lebih jarang terjadi dibandingkan *cyclic mobility*, namun kerusakan yang diakibatkan oleh *flow liquefaction* dapat

sangat fatal karena dapat mengakibatkan pergerakan tanah yang sangat cepat dengan volume tanah yang masif.

Menurut Jefferies dan Been (2006), *flow liquefaction* dapat dipicu oleh beban statik maupun beban siklik. *Flow liquefaction* dapat terjadi pada tanah pasir lepas dan lanau pada kondisi jenuh ataupun mendekati jenuh. *Flow liquefaction* yang memicu kegagalan struktur tanah pada lereng maupun timbunan pada umumnya diakibatkan oleh perilaku *strain softening* pada material tanah. Bentuk kegagalan tersebut dapat berupa longsor maupun aliran yang penyebabnya sangat bergantung terhadap karakteristik dari material tanah dan geometri permukaan tanah. Penyebab kegagalan tersebut dapat diakibatkan oleh gravitasi ataupun faktor eksternal seperti beban siklik maupun peningkatan tekanan air pori. Zona kerentanan *flow liquefaction* dan diagram *stress path flow liquefaction* yang diinisiasi oleh beban siklik dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Zona Kerentanan *Flow liquefaction* dan Diagram *Stress Path Flow Liquefaction* yang Diinisiasi oleh Beban Siklik

Ketika suatu material tanah mengalami likuifaksi, maka tanah tersebut dapat diasumsikan berbentuk seperti fluida (Hamada dan Wakamatsu, 1998). Menurut Chen & Zhou (2007), pemikiran mengenai tanah pasir yang terlikuifaksi berbentuk fluida merupakan suatu pemikiran yang masih cenderung baru. Perilaku tanah yang mengalami likuifaksi berada dalam kondisi fluida tersebut didukung dengan fenomena yang terjadi pada area yang mengalami likuifaksi (peristiwa penurunan tanah, bangunan miring, struktur bawah tanah yang terangkat, *laterang spreading*), semuanya dapat dijelaskan dengan perspektif hidromekanikal. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Sasaki *et al.* (1992) pada pengujian *shake table*, diketahui bahwa aliran yang terjadi pada tanah pasir yang terlikuifaksi mengalami kemiripan dengan fluida dan arah deformasi dikontrol oleh gradien hidrolis.

Menurut Chen, Liu, Zhou (2006), karakteristik aliran pada pasir yang mengalami likuifaksi akan bersifat aliran non Newtonian (*shear thinning*) yang mana nilai viskositas pasir dalam kondisi likuifaksi akan semakin menurun seiring meningkatnya *shear strain rate*. Penelitian Hamada dan Takahashi (2004) menunjukkan bahwa perilaku aliran pada tanah yang terlikuifaksi ialah berupa *pseudoplastic* selama dalam kondisi mengalir dan tanah yang terlikuifaksi akan mendapatkan kekakuan awalnya secara perlahan-lahan dan kembali ke bentuk solid.

Namun, penelitian terdahulu belum membahas secara detail mengenai perilaku tanah khususnya nilai tahanan ujung tanah dan proses peningkatan & disipasi air pori eksese pada saat terjadinya likuifaksi. Selain itu, sehubungan dengan tanah yang mengalami likuifaksi akan mengalami perubahan wujud dari material solid menjadi likuid dan kembali lagi menjadi material solid, maka diduga material

tanah tersebut akan mengalami perubahan nilai viskositas seiring dengan berjalannya waktu.

1.2 Inti Permasalahan

Berdasarkan fenomena dan karakteristik likuifaksi yang telah diuraikan di latar belakang, maka inti permasalahan pada penelitian ini adalah mempelajari perilaku material tanah pasir kelanauan (nilai tahanan ujung, peningkatan & disipasi air pori eksese) dan menentukan nilai viskositas (η) material tanah pasir kelanauan pada saat diberikan beban dinamik hingga berada dalam kondisi terlikuifaksi.

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Berdasarkan inti permasalahan yang telah diuraikan di atas, maksud penelitian ini adalah :

1. Memodelkan material tanah pasir kelanauan pada kondisi terlikuifaksi.
2. Mempelajari perilaku material tanah pasir kelanauan (nilai tahanan ujung, peningkatan & disipasi tekanan air pori eksese) pada saat diberikan beban dinamik hingga terlikuifaksi.
3. Memperoleh parameter reologi tanah pasir kelanauan berupa viskositas (η) pada kondisi terlikuifaksi.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami proses mekanisme terjadinya likuifaksi, mengetahui perilaku material tanah pasir kelanauan (nilai tahanan ujung, peningkatan & disipasi tekanan air pori eksese) pada saat diberikan beban dinamik hingga terlikuifaksi, dan mengetahui nilai viskositas (η) material pasir kelanauan pada saat berada dalam kondisi terlikuifaksi.

1.4 Lingkup Penelitian

Untuk mencapai tujuan dari penelitian, adapun lingkup dari penelitian meliputi :

1. Sampel tanah pengujian menggunakan sampel tanah deposit dari *flow liquefaction* yang terjadi di Desa Sibalaya, Kecamatan Tanambulava, Kabupaten Sigi, Sulawesi Tengah, yang diakibatkan oleh Gempa Palu-Donggala 28 September 2018.
2. Instrumen yang digunakan untuk mengetahui perilaku material tanah dan untuk mendapatkan nilai viskositas (η) ialah dengan menggunakan kombinasi antara beberapa instrumen yaitu : *chamber*, *shake table*, *piezocone* (CPTu), dan *rod extruder*.
3. Metode yang digunakan dalam menentukan nilai viskositas (η) menggunakan metode yang diusulkan oleh Mahajan dan Budhu (2006).

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan terdiri atas studi literatur, pengambilan data lapangan, dan penelitian eksperimental.

1.5.1 Studi Literatur

Studi literatur dalam penelitian ini digunakan untuk memperoleh pemahaman yang lebih dengan cara menghimpun data - data dan informasi yang berhubungan dengan topik penelitian. Studi literatur dapat diperoleh dari berbagai sumber referensi antara lain berasal dari *text book*, *e-book*, jurnal penelitian, tulisan/makalah ilmiah yang relevan sebagai acuan dalam melakukan pemodelan, analisis, dan interpretasi hasil pemodelan.

1.5.2 Pengambilan Data Lapangan

Pengambilan data lapangan dilakukan dengan melakukan pengujian *in-situ* berupa pengeboran dalam, uji sondir, uji *piezocone* (CPTu), dan pengambilan sampel lapangan untuk dilakukan pengujian di laboratorium untuk memperoleh parameter reologi.

1.5.3 Penelitian Eksperimental

Pada penelitian ini, penulis melakukan desain model *chamber* dan *shake table* yang kemudian digunakan untuk memodelkan material tanah pasir kelanauan hingga mengalami likuifaksi. Kemudian penulis menggunakan *piezocone* (CPTu) yang disertai dengan alat penekan berupa *rod extruder* untuk mengetahui perilaku dan nilai viskositas (η) sampel tanah Desa Sibalaya pada saat mengalami likuifaksi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini dibagi ke dalam 5 (lima) bab sebagai berikut :

BAB 1 - PENDAHULUAN

Pada bab ini, penulis akan memaparkan mengenai latar belakang masalah, inti permasalahan, maksud & tujuan penelitian, lingkup penelitian, metodologi penelitian yang digunakan, dan sistematika penulisan.

BAB 2 - TINJAUAN PUSTAKA

Bab 2 bab ini, penulis akan menjabarkan dan menjelaskan mengenai studi terdahulu mengenai likuifaksi, studi terdahulu mengenai potensi likuifaksi, studi terdahulu mengenai ratio tekanan air pori eksese, studi terdahulu mengenai reologi, studi terdahulu mengenai jenis fluida, studi terdahulu mengenai penentuan viskositas

material tanah, studi terdahulu mengenai efek *viscous* pada penetrasi *shaft*, studi terdahulu mengenai *piezocone*, studi terdahulu mengenai pengukuran tekanan air pori pada pengujian *piezocone*, studi terdahulu mengenai *scaling effect* pada pengujian *piezocone*, studi terdahulu mengenai *shake table*, studi terdahulu mengenai *calibration chamber*, studi terdahulu mengenai persiapan sampel butiran kasar.

BAB 3 - METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini, penulis akan memaparkan mengenai metode penelitian yang digunakan, seperti pemaparan mengenai tahapan pengambilan sampel tanah, tahapan pengujian laboratorium, tahapan pembuatan *shake table*, tahapan pembuatan *chamber*, tahapan persiapan sampel butiran kasar, tahapan pengujian *piezocone* pada sampel tanah.

BAB 4 - ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, penulis akan memaparkan mengenai kronologi likuifaksi dan pergerakan tanah di Desa Sibalaya, hasil kunjungan lapangan, kondisi geologi, kondisi tanah, data kegempaan, kajian potensi likuifaksi, kajian perilaku material sampel tanah dalam kondisi dinamik, dan penentuan nilai viskositas pada sampel tanah Desa Sibalaya.

BAB 5 - KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini, penulis akan menyampaikan kesimpulan mengenai hasil pengamatan terhadap perilaku sampel tanah Desa Sibalaya pada saat diberikan beban dinamik hingga mengalami likuifaksi dan menyampaikan nilai viskositas sampel tanah Desa Sibalaya pada saat mengalami likuifaksi, serta menyampaikan saran mengenai hal-hal yang perlu dilakukan untuk menunjang penelitian berikutnya.

