



UNIVERSITAS GADJAH MADA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Grafika No. 2, Yogyakarta 55281 Telp. (0274) 513665, 6492190 Fax. (0274) 589659
http://ft.ugm.ac.id, E-mail: teknik@ugm.ac.id

Nomor : 4274 /H1.17/PS/2019
Lamp. :-
Hal : Pelaksanaan Ujian Tertutup Program Doktor

5 Juli 2019

Yth.

Ketua Departemen

Teknik Sipil dan Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
di tempat


Dengan hormat,

Menanggapi surat Saudara nomor 1182/H1-17/TKS/PS/2019 tanggal 4 Juli 2019, perihal Izin Pelaksanaan Ujian Tertutup Program Doktor, bersama ini kami sampaikan bahwa setelah mempertimbangkan kelengkapan dokumen persyaratan ujian serta hasil kelayakan disertasi dan publikasi Sdr. Muhajirah, NIM 14/372870/STK/00460, maka usulan ujian tertutup bagi yang bersangkutan dapat diproses lanjut/dilaksanakan, pada 16 Juli 2019 (dengan waktu pelaksanaan ujian selama 150 menit, dipimpin oleh Ketua Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada) dan anggota penguji luar Dr. Anas Puri, S.T., M.T. (Universitas Islam Riau, Pekanbaru).

Demikian kami sampaikan, atas perhatiannya diucapkan terima kasih.

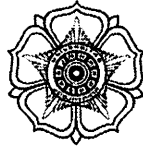
D e k a n,



Prof. Ir. Nizam, M.Sc., IPM., Ph.D., ASEAN Eng. 
NIP 196107061987101001

Tembusan:

1. Kepala Unit Pendidikan dan Pengajaran Program Pascasarjana
2. Ketua Program Studi Doktor Teknik Sipil
3. Sekretariat Program Studi Doktor Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada



KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS GADJAH MADA
NOMOR 751.P/UN1.FTK/SK/HK/2019

TENTANG

PENGANGKATAN TIM PENGUJI UJIAN TERTUTUP
PROMOVENDUS MUHAJIRAH

DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS GADJAH MADA,

- Menimbang : a. bahwa berdasarkan hasil penilaian dari Tim Penilai Disertasi Promovendus Muhajirah NIM 14/372870/STK/00460, dengan judul Disertasi Pengaruh Kandungan Pumice (Batu apung) Terhadap Potensi Likuifaksi Pasir serta hasil rapat kelayakan disertasi tanggal 2 Juli 2019, Disertasi tersebut dipandang layak dan telah siap uji, maka perlu mengangkat Tim Penguji Ujian Tertutup Promovendus Muhajirah;
- b. bahwa berdasarkan pertimbangan pada huruf a, perlu menetapkan Keputusan Dekan;
- Mengingat : 1. Undang-Undang Nomor 12 tahun 2012, tentang Pendidikan Tinggi (Lembaran Negara Tahun 2012 Nomor 158, Tambahan Lembaran Negara Nomor 5336);
2. Peraturan Pemerintah Nomor 67 Tahun 2013, tentang Statuta Universitas Gadjah Mada (Lembaran Negara Tahun 2013 Nomor 165, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5454);
3. Peraturan Pemerintah Nomor 4 tahun 2014, tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi (Lembaran Negara Tahun 2014 Nomor 16, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5500);
4. Peraturan Pemerintah Nomor 26 tahun 2015 tentang Bentuk dan Mekanisme Pendanaan Perguruan Tinggi Negeri Badan Hukum (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 110, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5699);
5. Peraturan Majelis Wali Amanat Universitas Gadjah Mada Nomor 4/SK/MWA/2014, tentang Organisasi dan Tata Kelola (*Governance*) Universitas Gadjah Mada sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Majelis Wali Amanat Universitas Gadjah Mada Nomor 2 Tahun 2016 tentang Perubahan atas Peraturan Majelis Wali Amanat Universitas Gadjah Mada Nomor 4/SK/MWA/2014, tentang Organisasi dan Tata Kelola (*Governance*) Universitas Gadjah Mada;
6. Keputusan Majelis Wali Amanat Universitas Gadjah Mada Nomor 6/UN1/SK/MWA/2017 Tentang Pengangkatan Rektor Universitas Gadjah Mada Periode Tahun 2017-2022;
7. Keputusan Rektor Universitas Gadjah Mada Nomor 1397/UN1.P/SK/HUKOR/2017 tanggal 6 September 2017, tentang Pengangkatan Dekan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Pengganti Antarwaktu Periode 2016-2021;

MEMUTUSKAN:

- Menetapkan :
- KESATU : Mengangkat:
- a. Prof. Ir. Joko Sujono, M.Eng., Ph.D. sebagai Ketua merangkap Anggota;
 - b. Dr. Ir. Ahmad Rifa'i, M.T. sebagai Anggota;
 - c. Ir. Agus Darmawan Adi, M.Sc., Ph.D. sebagai Anggota;
 - d. Prof. Ir. Henricus Priyosulistyo, M.Sc., Ph.D. sebagai Anggota;
 - e. Dr. Ir. I Wayan Warmada sebagai Anggota;
 - f. Dr. Anas Puri, S.T., M.T. sebagai Anggota; dan
 - g. Ir. Suprpto Siswosukarto, Ph.D. sebagai Anggota.
- pada Tim Penguji Ujian Tertutup Promovendus Muhajirah.
- KEDUA : Tim Penguji sebagaimana dimaksud pada Diktum KESATU bertugas:
- a. melaksanakan ujian dan penilaian kemampuan mahasiswa dalam kaitannya dengan penelitian disertasi; dan
 - b. melaporkan hasil ujian kepada Dekan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada dalam waktu yang sesingkat-singkatnya.
- KETIGA : Ujian Tertutup Program Doktor diselenggarakan pada Selasa, 16 Juli 2019.
- KEEMPAT : Biaya yang timbul akibat diterbitkannya Keputusan ini dibebankan pada Rencana Kerja dan Anggaran Tahunan Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- KELIMA : Keputusan ini berlaku pada tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di Yogyakarta
pada tanggal 5 Juli 2019

Dekan,



Prof. Ir. Nizam, M.Sc., Ph.D.

Tembusan:

1. Kepala Unit Pendidikan dan Pengajaran Program Pascasarjana
 2. Ketua Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan
 3. Ketua Program Studi Doktor Teknik Sipil
- Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada



UNIVERSITAS GADJAH MADA
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN

Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281 Telp. (0274) 545676 Fax. (0274) 545676
<http://tsipil.ugm.ac.id>, tsipil.ft@ugm.ac.id

Nomor : 67/H1.17/Ud/KM/DTSL/2019
Lampiran : -
Hal : Undangan

4 Juli 2019

Yth.

1. Dr. Anas Puri, S.T., M.T.
2. Prof. Ir. Henricus Priyosulistyo, M.Sc., Ph.D.
3. Dr. Ir. I Wayan Warmada
4. Dr. Ir. Ahmad Rifa'i, M.T.
5. Ir. Agus Darmawan Adi, M.Sc., Ph.D.
6. Sekretaris Program Studi Doktor Teknik Sipil
7. Muhajirah

Fakultas Teknik UGM

Mengharapkan kehadiran Bapak/Ibu pada pertemuan yang akan kami selenggarakan pada:

Hari, tanggal : Selasa, 16 Juli 2019
Pukul : 09:30 - 13:00 WIB
Tempat : Ruang Sidang Lantai 2 Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan
Acara : Ujian Tertutup : Muhajirah

Atas perhatian dan kerjasama yang baik, kami ucapkan terima kasih.

Ketua Departemen Teknik Sipil dan
Lingkungan,

Prof. Ir. Joko Sujono, M.Eng., Ph.D.
NIP. 196111261989021001



HALAMAN PERSETUJUAN

Tim Penguji menyetujui laporan disertai:

Nama : Muhajirah

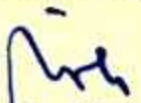
NIM : 14/372870/STK/460

Judul : **Pengaruh Kandungan *Pumice* (Batu Apung) Pada Potensi Likuifaksi Pasir**

yang telah diperbaiki sesuai saran dari Tim Penguji Ujian Tertutup

Tanda Tangan

Tanggal


Prof. Ir. Joko Sujono, M.Eng., Ph.D.

25.07.2019

Ketua Tim Penguji


Ir. Suprpto Siswosukarto, Ph.D.


25.07.2019

Anggota Tim Penguji


Dr. Anas Puri, S.T., M.T.


23.07.2019

Anggota Tim Penguji


Prof. Ir. Henricus Priyosulistyo, M.Sc., Ph.D.

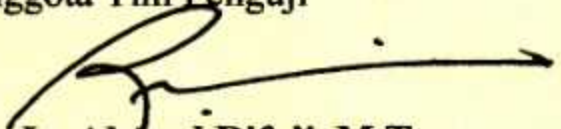
26.07.2019

Anggota Tim Penguji


Dr. Ir. I Wayan Warmada

25.07.2019

Anggota Tim Penguji


Dr. Ir. Ahmad Rifa'i, M.T.

30/07/2019

Anggota Tim Penguji


Ir. Agus Darmawan Adi, M.Sc., Ph.D.

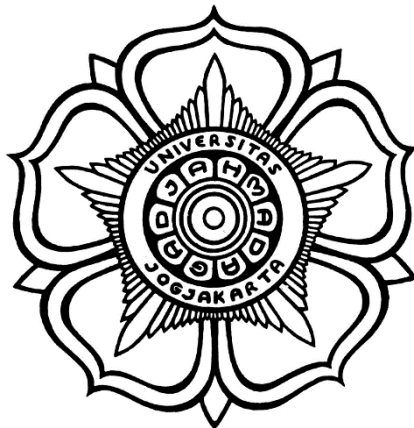
29.07.2019

Anggota Tim Penguji

**KOMENTAR / SARAN PERBAIKAN / ALASAN PENOLAKAN
UJIAN TERTUTUP**

Naskah Disertasi
**PENGARUH KANDUNGAN *PUMICE* (BATU APUNG) PADA
POTENSI LIKUIFAKSI PASIR**

Penelitian Disertasi
Program Studi Doktor Teknik Sipil
Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan



Oleh:

MUHAJIRAH

NIM: 14/372870/STK/460

**UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA
JULI 2019**

PENILAIAN DISERTASI

Mahasiswa : Muhajirah

No : 14/372870/STK/460

Penilai : Dr. Anas Puri, S.T., M.T.

No.	Halaman	A. Komentar	Tanggapan
1.		<i>Novelty</i> ada terkait lingkup Indonesia, perlu dieksplore lebih tegas	Terimakasih atas komentar Bapak. Pembahasan hanya terbatas berdasarkan literatur yang tersedia, hal. 68-171.
2.		Komponen materi disertasi cukup memadai kecuali tidak dilakukan uji kuat geser seluruh variasi sampel.	Uji kuat geser tidak dilanjutkan ke pasir mengandung <i>pumice</i> , karena uji ini bersifat statik sedangkan topik penelitian mengacuh ke beban dinamik.
No.	Halaman	B. Saran Perbaikan	Tanggapan
1.		Perbaiki penulisan – urutan sub Bab I: Tujuan, Batasan, dll.	Sudah direvisi, halaman 9- 10
2.		Hipotesa sejalan dengan tujuan.	Sudah direvisi, halaman 9 dan 85
3.		Kesimpulan sejalkan/klop dengan tujuan.	Sudah direvisi, halaman 9 dan 172
4.		Di Bab V, ganti kata “uji” dengan “hasil uji”.	Sudah direvisi, halaman 125-171
5.		Dikembangkan uraian faktor-faktor yang dapat menurunkan tekanan air pori akibat kandungan <i>pumice</i> .	Penjelasan yang berkaitan dengan faktor-faktor yang dapat menurunkan tekanan air pori berhubungan dengan faktor-faktor yang mempengaruhi likuifaksi likuifaksi. Hal ini berkaitan dengan pembahasan di halaman 168-171

		Judul diarahkan terkait pengaruh <i>pumice</i> dalam menurunkan tekanan air pori.	Judul sebaiknya menarik minat buat pembaca atau mengandung kata yang menarik minat tinggi buat pembacanya, sehingga penggunaan kata “likuifaksi” lebih tepat untuk penelitian ini.
6.		Seragamkan penggunaan kata “gempa bumi”	Sudah direvisi, sepanjang naskah
7.		Tabel 2.2, masukkan gempa bumi Lombok dan Palu.	Sudah dilaksanakan hal. 19
8.		Persamaan di halaman 63-64 diberi nomor urut	Sudah dilaksanakan hal 63-64
9.		Gambar 3.18 hal 70, hilangkan logo ui	Sudah dilaksanakan hal 70
10		Gambar 3.20, penjelasan gambar menggunakan Bahasa Indonesia	Sudah dilaksanakan hal 75
11.		Jelaskan maksud luas permukaan spesifik	Luas permukaan spesifik menggambarkan total luas permukaan semua partikel dalam suatu sampel. Jika terjadi penambahan luas permukaan spesifik setelah sampel diuji, kondisi ini menjelaskan bahwa telah terjadi particle crushing saat sampel diuji sehingga jumlah partikel bertambah. Halaman 85
12.		Tambah keterangan gambar 4.1, lokasi pengambilan sampel pasir.	Sudah dilaksanakan halaman 88
13.		Gambar 4.39, perjelas alur yang dilingkari pada naskah	Sudah dilaksanakan, panah alur untuk material pasir, pumice dan pasir + pumice, hal 123
14.		Jelaskan mengapa harus ada uji permeabilitas? Tidak termasuk ke dalam faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya likuifaksi	Menurut Zhang (2001), kerentanan likuifaksi tanah juga dipengaruhi oleh permeabilitas tanah. Tanah dengan permeabilitas tinggi dapat mencegah akumulasi peningkatan tekanan air pori dan likuifaksi. Halaman 128

		Gambar 5.6, perbesaran berapa?	Gambar 5.6a) perbesaran 3000x, dan Gambar 5.6b) perbesaran 1000x. halaman 132
15.		Halaman 133, ganti judul sub bab menjadi: Karakteristik sampel uji	Sudah dilaksanakan, halaman 133
16.		Koreksi tabel 5.4 → gunakan “koma” bukan “titik”	Sudah dilaksanakan/direvivi. Halaman 134
17.		Gambar 5.4 perbesaran berapa?	Perbesaran 100x, halaman 171
No.	Halaman	C. Alasan Penolakan	Tanggapan
	-	-	-

PENILAIAN DISERTASI

Mahasiswa : Muhajirah

No : 14/372870/STK/460

Penilai : Prof. Ir. Henricus Priyosulistyo, M.Sc., Ph.D.

No.	Halaman	A. Komentar	Tanggapan
1.		Metode penelitian tidak terarah dengan baik (banyak dipengaruhi oleh kondisi alat dan acuan yang tidak pasti).	<ul style="list-style-type: none">• Metode penelitian yang digunakan terutama berkaitan dengan alat uji memang belum sepenuhnya sempurna. Hal ini dikarenakan masih sedikit literatur yang membahas secara detail mengenai prinsip aplikasi alat shaking table untuk likuifaksi terutama penggunaan frekuensi yang menggunakan <i>time history</i> dari gelombang sinus.• Jurnal pun hanya sedikit menjelaskan secara detail prinsip atau dasar teori yang digunakan.• Akan tetapi, metode dan prosedur yang digunakan sudah sesuai dengan yang pernah dilakukan sebelumnya oleh: Maheshwari et al. (2008), Pathak

			et al. (2013), Varghese and Latha (2014) dan Mase (2017)
2.		Sampel tidak mencerminkan kondisi lapangan (tidak terskala dari kondisi lapangan)	<ul style="list-style-type: none"> • Sebenarnya Model uji sudah dapat menggambarkan kondisi di lapangan. Hal ini berkaitan dengan aplikasi perbandingan volume atau kepadatan yang menjadi kondisi pemicu likuifaksi. Kerapatan relatif yang digunakan di laboratorium dapat dibandingkan dengan kondisi dilapangan. • Sebagai contoh, pada model uji digunakan kerapatan relatif 30%, kondisi ini dapat mewakili kondisi di lapangan. Berat volume kering unuk kerapatan ini adalah 1250-1300 kg/m³. Jika kasus di lapangan terdapat lahan dengan luas 10 m x 10 m dengan ketebalan lapisan 2 m, maka berat kering tanah yang sebanding adalah 260 ton (berat vol kering 1300 kg/m²). Untuk penggunaan 30% pumice, maka berat pumice diperlukan 78 ton dan pasir 182 ton. Kepadatan yang dilapangan harus diketahui terlebih dahulu untuk mengetahui berapa pasir yang harus ditambahkan Jika tanahnya berupa pasir,

No.	Halaman	B. Saran Perbaikan	Tanggapan
1.		Perubahan tekanan pori oleh adanya <i>pumice</i> .	Perubahan tekanan air pori dijelaskan pada halaman 168-171 dikaitkan dengan karakteristik <i>pumice</i> (hasil uji kuat geser dan uji EDS) dan hasil uji gradasi setelah uji shaking.
2.		Frekuensi guncangan tidak perlu diexpose secara khusus (bukan parameternya) tetapi lebih ke masalah siklik	Pada desain <i>time-history</i> penekanan hanya dijelaskan pada nilai amplitudo percepatan yang digunakan dan didasarkan pada percepatan gempa yang pernah terjadi dan menimbulkan fenomena likuifaksi. Halaman 111-115
3.		Judul “Pengaruh kandungan Pumice (Batu Apung) pada perubahan tekanan air pori”	Seperti dijelaskan pada halaman sebelumnya bahwa, judul sebaiknya menggunakan kata yang menarik minat baca sehingga mudah diperoleh bagi pembaca yang membutuhkannya. Oleh karena itu penggunaan kata “likuifaksi” lebih tepat untuk penelitian ini.
4.		Perbaiki intisari: penggunaan kata “gempa bumi”. Jelaskan latar belakang pengambilan nilai frekuensi, bukan dari nilai Tabel rekomendasi Seed.	Sudah dilaksanakan, perbaikan kata ”gempa bumi” di intisari. Pemilihan nilai frekuensi yang digunakan berasal dari <i>trial and error</i> pada penentuan nilai frekuensi alami, yaitu dengan melakukan uji shaking dengan menggunakan beberapa massa dan frekuensi yang berbeda. Halaman xviii dan 112, halaman 140-142.

5.		Beri notasi durasi waktu untuk Gambar 5.16 – 5.37	Sudah diberi keterangan berupa garis vertikal pada gambar yang menunjukkan batas atau durasi pengujian. Halaman 143-160.
6.		Koreksi untuk persamaan 5.1	Sudah diperbaiki, halaman 130
No.	Halaman	C. Alasan Penolakan	Tanggapan
	-	-	-

PENILAIAN DISERTASI

Mahasiswa : Muhajirah
No : 14/372870/STK/460
Judul Disertasi : Pengaruh Kandungan Pumice (Batu Apung) Pada Potensi Likuifaksi Pasir
Penilai : Dr. Ir. I Wayan Warmada

No.	Halaman	A. Komentar	Tanggapan
1.		Disertasi sangat baik dengan data yang lengkap.	Terimakasih atas komentar Bapak.
No.	Halaman	B. Saran Perbaikan	Tanggapan
1.		Uraian <i>pumice</i> LN untuk mendukung karakteristik pumice Lombok tidak perlu, dihilangkan saja.	Revisi sudah dilaksanakan, komentar terhadap jurnal yang diberkaitan sudah dihilangkan. halaman 132
2.		Gambar 5.44 diperjelas simbol hurufnya.	Revisi sudah dilaksanakan, huruf atau font sudah diganti juga warnanya. halaman 171
3.		Persamaan pada Gambar 5.38 dan 5.39 sebenarnya linear cukup, karena koefisien x^2 terlalu kecil.	Revisi sudah dilaksanakan, persamaan regresi linear sudah diaplikasikan pada pembahasan. halaman 161-162.

No.	Halaman	C. Alasan Penolakan	Tanggapan
	-	-	-

PENILAIAN DISERTASI

Mahasiswa : Muhajirah

No : 14/372870/STK/460

Penilai : Ir. Suprpto Siswosukarto, Ph.D.

No.	Halaman	A. Komentar	Tanggapan
No.	Halaman	B. Saran Perbaikan	Tanggapan
No.	Halaman	C. Alasan Penolakan	Tanggapan
		Lulus dengan perbaikan	Revisi Sudah dilaksanakan,

PENILAIAN DISERTASI

Mahasiswa : Muhajirah

No : 14/372870/STK/460

Penilai : Prof. Ir. Joko Sujono, M.Eng., Ph.D.

No.	Halaman	A. Komentar	Tanggapan
	-	-	-
No.	Halaman	B. Saran Perbaikan	Tanggapan
	-	-	-
No.	Halaman	C. Alasan Penolakan	Tanggapan
	-	-	-

PENILAIAN DISERTASI

Mahasiswa : Muhajirah
 No : 14/372870/STK/460
 Judul Disertasi : Pengaruh Kandungan *Pumice* (Batu Apung) Pada Potensi Likuifaksi Pasir
 Penilai : Ir. Agus Darmawan Adi, M.Sc., Ph.D.

No.	Halaman	A. Komentar	Tanggapan
1.		Masih ada beberapa perbaikan di penulisan.	Revisi Sudah dilaksanakan
2.		Beberapa perbaikan di isi / pemahaman.	Revisi sudah dilaksanakan
3.		Beberapa catatan yang perlu ditindaklanjuti.	Revisi sudah dilaksanakan
No.	Halaman	B. Saran Perbaikan	Tanggapan
1.		Melakukan perbaikan sesuai saran penguji dan pembimbing.	Revisi sudah dilaksanakan.
2.		Pada Pendahuluan, perbaiki penjelasan/komentar terhadap hasil penelitian sebelumnya.	Revisi sudah dilaksanakan. Pada uji triaksial siklik, sebenarnya partikel tidak mengalami “kehancuran”. Partikel mengalami perubahan bentuk atau ukuran akibat beban siklik. Halaman 8-9
3.		Tabel 2.2 gempa bumi Christchurch?	Sudah dimasukkan gempa bumi Christchurch, halaman 19
4.		Koreksi nilai atau angka pada Tabel 2.6	Tidak bisa dikoreksi karena hasil penelitian dari jurnal. Halaman 31

5.		Koreksi terhadap nilai pada Tabel 5.1 → klasifikasi tanah	Sudah dikoreksi, klasifikasi pumice dengan menilai dari Cu. SP-SM. halaman 124-125
6.		Perbaiki Gambar 5.2 → tampilkan angka yang sama pada mistar	Sudah dilaksanakan, mistar sebagai pembanding pada gambar sudah disamakan untuk setiap gambar. halaman 126.
No.	Halaman	C. Alasan penolakan	Tanggapan
	-	-	-

PENILAIAN DISERTASI

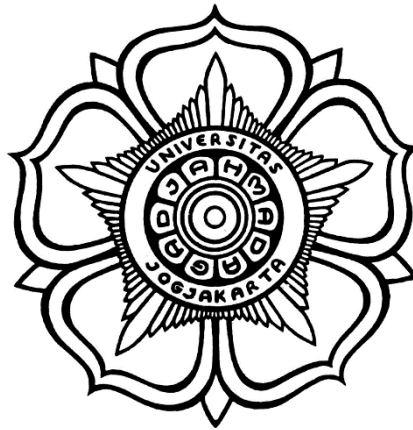
Mahasiswa : Muhajirah
No : 14/372870/STK/460
Judul Disertasi : Pengaruh Kandungan *Pumice* (Batu Apung) Pada Potensi Likuifaksi Pasir
Penilai : Dr. Ir. Ahmad Rifa'i, M.T.

No.	Halaman	A. Komentar	Tanggapan
1.		Secara umum sudah lengkap dan memenuhi.	Terimakasih atas komentar Bapak.
2.		Ada sedikit koreksi sesuai saran.	Revisi sudah dilaksanakan.
		Koreksi pada Pendahuluan, komentar terhadap hasil penelitian sebelumnya.	Sudah dilaksanakan, halaman 8.
No.	Halaman	B. Saran Perbaikan	Tanggapan
		Lihat komentar.	Revisi sudah dilaksanakan.
No.	Halaman	C. Alasan Penolakan	Tanggapan
	-	-	-

Naskah Disertasi

**PENGARUH KANDUNGAN *PUMICE* (BATU APUNG)
PADA POTENSI LIKUIFAKSI PASIR**

Penelitian Disertasi
Program Studi Doktor Teknik Sipil
Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan



Oleh:

MUHAJIRAH

NIM: 14/372870/STK/460

UNIVERSITAS GADJAH MADA

YOGYAKARTA

JULI 2019

HALAMAN PERSETUJUAN

Tim Promotor menyetujui laporan disertasi:

Nama : Muhajirah

NIM : 14/372870/STK/460

Judul : **Pengaruh Kandungan *Pumice* (Batu Apung) Pada Potensi
Likuifaksi Pasir**

Yang telah diperbaiki sesuai saran dari Tim Penguji Ujian Tertutup


Dr. Ir. Ahmad Rifa'i, M.T.

Promotor

30/07/2019


Ir. Agus Darmawan Adi, M.Sc., Ph.D.

Ko Promotor

29.07.2019

HALAMAN PERSETUJUAN

Tim Penguji menyetujui laporan disertasi:

Nama : Muhajirah


NIM : 14/372870/STK/460

Judul : Pengaruh Kandungan *Pumice* (Batu Apung) Pada Potensi Likuifaksi Pasir

yang telah diperbaiki sesuai saran dari Tim Penguji Ujian Tertutup

Tanda Tangan

Tanggal


Prof. Ir. Joko Sujono, M.Eng., Ph.D.

25.07.2019

Ketua Tim Penguji


Ir. Suprpto Siswosukarto, Ph.D.

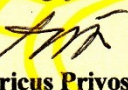
25.07.2019

Anggota Tim Penguji


Dr. Anas Puri, S.T., M.T.

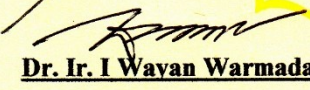
23.07.2019

Anggota Tim Penguji


Prof. Ir. Henricus Privosulistyo, M.Sc., Ph.D.

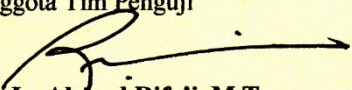
26.07.2019

Anggota Tim Penguji


Dr. Ir. I Wyan Warmada

25.07.2019

Anggota Tim Penguji


Dr. Ir. Ahmad Rifa'i, M.T.

30/07/2019

Anggota Tim Penguji


Ir. Agus Darmawan Adi, M.Sc., Ph.D.

29.07.2019

Anggota Tim Penguji

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini adalah Promovendus Program Studi Doktor Ilmu Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada,

Nama : Muhajirah

NIM : 14/372870/STK/460

Dengan ini menyatakan bahwa disertasi ini tidak terdapat karya yang telah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, serta tidak terdapat karya atau pendapat orang lain yang pernah ditulis atau dipublikasikan, kecuali yang dirujuk dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya.

Yogyakarta, 26 Juli 2019

Muhajirah

PRAKATA

Alhamdulillah rabbil 'alamiin atas berkah, rahmat dan hidayah Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan disertasi ini. Disertasi ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan studi S3 di Bidang Geoteknik, Program Studi Doktor Ilmu Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Disertasi ini berjudul **Pengaruh Kandungan *Pumice* (Batu Apung) Pada Potensi Likuifaksi Pasir**. Disertasi ini disusun untuk melengkapi referensi mengenai dampak yang dapat terjadi akibat gempabumi di suatu tempat yang terdapat endapan material *pumice* atau batuapung. Material *pumice* yang digunakan berasal dari Kecamatan Ampenan Kota Mataram dan material pasir diambil dari Desa Maguwoharjo Kecamatan Depok Kabupaten Sleman.

Dalam penyusunannya, penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. es. sc. tech. Ir. Ahmad Rifa'i, M.T. selaku Promotor dan Bapak Ir. Agus Darmawan Adi, M.Sc., Ph.D. selaku Ko-Promotor atas kesabaran, yang dengan ikhlas memberikan pengarahan, bimbingan, koreksi dan waktu dalam penyusunan Disertasi ini. Pada kesempatan ini, Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Ir. Henricus Priyosulistyo, M.Sc., Ph. D. dan Dr. Ir. I Wayan Warmada selaku Dosen Penguji, atas segala koreksi dan pengarahannya.
2. Pimpinan dan staf Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada,
3. Pimpinan dan Staf Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada,
4. Kepala dan staf Laboratorium Mekanika Tanah, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada,
5. Kepala dan staf Laboratorium Teknik Struktur, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada,

6. Pimpinan dan staf Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram,
7. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Pendidik dan Tenaga Kependidikan, melalui Program Beasiswa Pendidikan Dalam Negeri atas bantuan biaya pendidikan.
8. Direktorat Jenderal Sumber Daya, Iptek, dan Dikti Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, dalam bentuk Hibah Penelitian Disertasi Doktor (PDD) tahun 2018.
9. Almarhum kedua orang tuaku, Mustafa M. dan Hj. St. Hadrah Hasan untuk semua doa dan dukungannya selama beliau hidup. Almarhum kakakku Atmiral untuk semua doa dan bantuannya sejak saya memulai penelitian ini hingga detik-detik sebelum beliau meninggal dunia. Almarhum kedua mertuaku dan saudara ipar yang senantiasa memberikan doa untuk kami.
10. Suamiku Dr. Hiden, S.Si., M.T. dan anakku Yudnina Nur Najmi untuk semua doa, semangat dan bantuannya selama kuliah S3.
11. Rekan-rekan S3 Geoteknik dan S3 Teknik Sipil yang telah memberikan saran dan dukungannya selama mengikuti pendidikan S3 Ilmu Teknik Sipil di UGM.

Untuk kesempurnaan Disertasi ini, penulis mengharapkan semoga hasil akhir dari penelitian ini dapat bermanfaat.

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
PERNYATAAN	iv
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xvii
INTISARI	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Permasalahan	1
B. Rumusan Masalah	9
C. Tujuan Penelitian	9
D. Batasan Masalah	10
E. Keaslian Penelitian	10
E. Manfaat Penelitian	14
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	15
A. Kriteria Seleksi di Situs Berpotensi Likuifaksi	15
B. Evaluasi Potensi Likuifaksi	17
1. Faktor-faktor yang mempengaruhi likuifaksi	17
2. Potensi likuifaksi pasir	22
3. Potensi likuifaksi partikel mudah rusak	25
4. Potensi likuifaksi <i>pumice</i>	28
C. Evaluasi Potensi Likuifaksi Menggunakan <i>Shaking Table</i>	39
BAB III LANDASAN TEORI	45
A. Beban Dinamik	45
1. Definisi beban siklik	45
2. Perambatan gelombang seismik Satu-Dimensi	47
B. Gempa Bumi Penyebab Likuifaksi	49
1. Definisi likuifaksi	49
2. Mekanisme likuifaksi	49
3. Analisis likuifaksi dengan model kolom tanah	51
4. <i>Cyclic Stress Ratio</i> (CSR) akibat gempa bumi	53
C. Percepatan tanah maksimum dalam SNI-1726 2012	54
D. Uji Potensi Likuifaksi di Uji Laboratorium	58
1. Konsep dasar uji triaksial siklik	58

2. Kriteria likuifaksi	61
3. Analisis keluaran uji triaksial siklik	62
4. Faktor-faktor yang mempengaruhi tahanan likuifaksi sampel tanah	64
E. Metode Persiapan Sampel Uji	71
1. Metode <i>wet tamping</i>	72
2. Metode <i>dry pluviation</i>	72
F. Pemodelan Likuifaksi di laboratorium	75
1. Alat uji <i>shaking table</i>	76
2. Alat uji <i>centrifuge</i>	78
3. Kotak sampel	80
4. <i>Input motion</i> percepatan	84
G. Degradasi partikel tanah	84
H. Hipotesa	85
BAB IV METODE PENELITIAN	88
A. Lokasi Pengambilan Sampel	88
1. Pasir	88
2. <i>Pumice</i>	88
B. Jenis Pengujian	89
C. Alat Uji	90
D. Rancangan Pengujian	92
1. Uji pendahuluan	92
2. Uji permeabilitas <i>pumice</i> Mataram	92
3. Uji kuat geser <i>pumice</i> Mataram	93
4. Uji SEM dan EDS	93
5. Uji triaksial siklik <i>stress-controlled</i>	93
6. Uji <i>shaking table</i>	94
7. Uji gradasi setelah uji <i>shaking table</i>	95
E. Uji Berat Volume Kering Minimum dan Maksimum	95
F. Tahap-tahap uji triaksial siklik	96
1. Persiapan sampel	96
2. Persiapan uji triaksial <i>stress-controlled</i>	98
3. Pelaksanaan uji triaksial siklik	101
G. Tahap-tahap Uji <i>Shaking Table</i>	103
1. Desain tempat penyimpanan sampel	103
2. Desain alat untuk persiapan sampel	106
3. Kalibrasi alat pengukur tekanan air pori	108
4. Desain beban siklik sebagai beban gempa	111
5. Persiapan uji <i>shaking table</i>	115
6. Pelaksanaan uji <i>shaking table</i>	121
H. Diagram Alir Penelitian	122
I. Publikasi	122
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	124
A. Hasil Uji Sifat Fisik Pasir dan <i>Pumice</i>	124

B.	Hasil Uji Berat Volume Kering Minimum dan Maksimum	126
C.	Hasil Uji karakteristik <i>pumice</i>	127
	1. Hasil uji permeabilitas <i>Pumice</i>	127
	2. Hasil uji Kuat Geser <i>Pumice</i>	129
	3. Hasil uji SEM dan EDS	130
D.	Karakteristik Sampel Uji	132
E.	Hasil uji triaksial Siklik	133
	1. Hasil uji triaksial siklik <i>pumice</i>	133
	2. Hasil uji triaksial pasir	137
F.	Hasil Uji <i>Shaking Table</i>	138
	1. Persiapan model uji	138
	2. <i>Time history</i> percepatan	139
	3. Analisis hasil uji <i>shaking table</i> untuk amplitude percepatan 0,35g	141
	4. Analisis hasil uji <i>shaking table</i> untuk amplitude percepatan 0,38g	148
G.	Degradasi Partikel <i>Pumice</i> Akibat Beban Siklik	162
	1. Model uji <i>pumice</i>	162
	2. Model uji pasir mengandung 30% <i>pumice</i>	164
	3. Model uji pasir mengandung 50% <i>pumice</i>	166
H.	Pengaruh Degradasi <i>Pumice</i> Terhadap Reduksi Tekanan Air Pori	167
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN		171
A.	Kesimpulan	171
B.	Saran-saran	176
DAFTAR PUSTAKA		177
LAMPIRAN-LAMPIRAN		191

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 1.1	Indonesia berada di pertemuan tiga lempeng dunia (Badan Meteorologi dan Geofisika)	1
Gambar 1.2	Lateral spreading dan differential settlement di Gedung Perpustakaan Pusat UMY Yogyakarta (Muntohar, 2009)	2
Gambar 1.3	Kerusakan yang terjadi di Kecamatan Medana KLU akibat gempabumi tanggal 22 Juni 2013 (<i>Courtesy</i> Hiden, 2013)	3
Gambar 1.4	Peta klasifikasi kelas batuan/tanah untuk Kota Mataram (Soehaimi, dkk., 2015)	4
Gambar 1.5	Peta Potensi Bencana Gempabumi Guncangan Tanah Kota Mataram (Soehaimi, dkk., 2015)	6
Gambar 1.6	Sampel tanah yang diambil dari lokasi Kebon Talo: a) kedalaman 0-5m, b) kedalaman 5-10m (Muhajirah, dkk., 2014)	7
Gambar 1.7	Likuifaksi di Rokko Island Docks akibat gempabumi Hyogoken-Nambu (Kobe) 17 Januari 1995 dengan $M = 6,9$ (Byrne, et al., 2008)	8
Gambar 2.1	Runtuhnya Showa Bridge saat terjadi gempabumi Niigata tahun 1964 (Bhattacharya, 2003)	15
Gambar 2.2	Runtuhnya apartemen di Kawagishi Town (Bhattacharya, 2003)	16
Gambar 2.3	a) Semburan pasir yang muncul di areal <i>runway</i> bandara Adisutjipto-Yogyakarta (<i>courtesy of</i> Siswosukarto, 2006), b) <i>sand boil</i> akibat gempabumi Padang (Hakam, 2012)	16
Gambar 2.4	Batas-batas kurva gradasi yang memisahkan tanah yang dapat dan tidak dapat terlikuifaksi (Tsuchida, 1970)	18
Gambar 2.5	Kurva batas yang diusulkan untuk mengidentifikasi kerusakan situs akibat gempabumi (Ishihara, 1985)	21
Gambar 2.6	a) Likuifaksi pasir kelanauan terjadi akibat gempabumi Christchurch, New Zealand selama tahun 2010-2011, b) Likuifaksi pasir kelanauan yang terjadi di sekitar pantai bagian selatan Cemetery Park, Urayasu, Japan (Chen, et al., 2014).	24
Gambar 2.7	Kurva kekuatan siklik untuk beberapa tegangan kekang (Hyodo, et al., 2000)	27
Gambar 2.8	Kurva pengaruh kandungan butiran halus terhadap kekuatan siklik; a) $D_r = 50\%$ (tidak padat) dan $\sigma'_c = 100\text{kPa}$, b) $D_r = 90\%$ (padat) dan $\sigma'_c = 100\text{kPa}$ (Aramaki, et al., 2007)	28
Gambar 2.9	Rongga-rongga di dalam batu apung: 1. Material padat, 2. Rongga luar 3. Rongga dalam (Yıldız dan Soğancı, 2012)	29

Gambar 2.10	a) Kurva distribusi ukuran butiran kedua sampel pasir, b) hasil uji oedometer standar (Wesley, 2010)	32
Gambar 2.11	Rangkuman hasil uji triaksial terdrainase untuk kedua sampel pasir (Wesley, 2010).	33
Gambar 2.12	a) Kurva likuifaksi pasir Puni dan kurva empiris data De Alba et al., b) normalisasi respon tekanan pori (Marks, et al., 1998)	35
Gambar 2.13	Kurva perbandingan tahanan likuifaksi untuk pasir Pumice padat yang dibentuk pada beberapa tekanan kekang yang berbeda (Orense, et al., 2012)	36
Gambar 2.14	Lintasan tegangan efektif untuk pasir pumice padat dan tidak padat (Liu, et al., 2015).	36
Gambar 2.15	Perbedaan kekuatan siklik pasir Pumice dan pasir Toyoura (Liu, et al., 2015)	37
Gambar 2.16	Perbandingan tahanan siklik pasir pumice dan campuran pasir pumice-pasir sungai Mercer (liu, et al., 2015)	38
Gambar 2.17	Perbandingan kurva distribusi ukuran butiran sebelum dan setelah uji siklik: a) setelah uji siklik pertama, b) setelah tiga kali uji siklik (Orense, et al., 2012)	39
Gambar 2.18	Pengaruh penempatan <i>pore pressure transducer</i> terhadap peningkatan tekanan air pori (Pathak and Patki, 2013b) ...	41
Gambar 2.19	Pengaruh percepatan gempa ($a_{max} = 0,21g$ dan $0,45g$) terhadap peningkatan tekanan air pori pada sampel pasir $D_r = 30\%$: a) level Top, b) level Middel, c) level Bottom	42
Gambar 2.20	Pengaruh variasi beban gempa dan frekuensi terhadap peningkatan rasio tekanan air pori (Verghese, et al., 2014)	43
Gambar 2.21	Rasio tekanan air pori versus waktu untuk beban dinamik: a) 0,30g, b) 0,35g, c) 0,40g (Mase, L.Z., 2017)	44
Gambar 3.1	a) Bentuk kurva beban versus waktu untuk mesin tipe rotary berkecepatan rendah, b) model gelombang sinus untuk Gambar a), (Das, 1993)	45
Gambar 3.2	Bentuk kurva beban: a) beban <i>transient</i> akibat tumbukan tunggal dari <i>hammer</i> , b) komponen vertikal dari percepatan tanah akibat pemancangan tiang (Das, 1993) ...	46
Gambar 3.3	Accelerogram dari gempabumi El Centro California pada tanggal 18 Mei 1940, komponene Utara-Selatan (Das, 1993)	47
Gambar 3.4	Ekivalen gelombang tegangan seragam: a) riwayat tegangan tidak teratur versus waktu, b) riwayat ekivalen tegangan seragam versus waktu (Das, B.M., 1993)	48
Gambar 3.5	Idealisasi komponen tegangan pada suatu elemen tanah akibat beban seismik (Rascol, 2009)	49
Gambar 3.6	Beban siklik menyebabkan partikel tanah bergerak dan kelebihan tekanan air pori meningkat (Lenart, 2008)	50

Gambar 3.7	a) Tegangan geser maksimum pada suatu kedalaman untuk kolom tanah yang kaku, b) Rentang faktor reduksi tegangan geser C_D untuk tanah yang dapat berdeformasi (Seed dan Indris, 1971 dalam Das, B.M., 1993)	51
Gambar 3.8	Faktor reduksi tegangan geser yang diusulkan oleh Seed, et al., (1971) dalam Youd, et al., (2001)	53
Gambar 3.9	Percepatan maksimum tanah permukaan (<i>Peak Ground Acceleration, PGA</i>) yang terjadi akibat gempa maksimum untuk seluruh wilayah di Indonesia (Badan Standardisasi Nasional, 2012)	54
Gambar 3.10	Aplikasi tegangan geser siklik pada elemen tanah akibat gempa bumi (Das, 1993)	58
Gambar 3.11	Simulasi geostatik dan tegangan siklik pada sampel yang menerima beban triaksial siklik (Ishihara, 2003)	59
Gambar 3.12	Regangan aksial dan perkembangan tekanan air pori hasil uji triaksial siklik (Ishihara, 2003)	61
Gambar 3.13	Tipe sampel uji triaksial siklik untuk menggambarkan kriteria keruntuhan (Ishihara, 1982).	62
Gambar 3.14	Pengaruh kepadatan relatif terhadap jumlah siklus beban berbentuk gelombang persegi untuk menghasilkan <i>initial liquefaction</i> pada sampel yang dibentuk dengan metode moist tamped (Mulilis, et al., 1976)	66
Gambar 3.15	Pengaruh metode persiapan sampel terhadap jumlah siklus beban yang menghasilkan <i>initial liquefaction</i> dengan menggunakan beban gelombang persegi (Mulilis, et al., 1976).	68
Gambar 3.16	Pengaruh bentuk beban gelombang terhadap jumlah siklus untuk menghasilkan <i>initial liquefaction</i> untuk sampel yang dibentuk dengan moist tamped (Mulilis, et al., 1976).	69
Gambar 3.17	Pengaruh bentuk gelombang terhadap tahanan likuifaksi (Silver et al., 1976)	69
Gambar 3.18	Pengaruh frekuensi beban terhadap peningkatan tekanan air pori (Zulfikar, 2000)	70
Gambar 3.19	a) Rangkaian alat <i>stationary pluviator</i> , b) sampel yang dihasilkan dari metode <i>stationary pluviator</i> (Amat, 2007)	74
Gambar 3.20	a) Rangkaian alat <i>pluviator</i> yang digunakan oleh Benahmed, b) prinsip proses <i>traveling pluviator</i> (Benahmed, 2015)	75
Gambar 3.21	Meja getar tipe R-141 di Laboratorium Struktur DTSL UGM	77
Gambar 3.22	Komponen utama alat shaking table (Pathak, et al., 2010)	78
Gambar 3.23	Aktuator	78
Gambar 3.24	Rangkaian alat <i>centrifuge</i> dan data <i>acquisition system</i> di Ehime University (Minaka, 2016)	79
Gambar 3.25	Kotak sampel dan posisinya (panah putih) pada alat uji <i>centrifuge</i> (Minaka, 2016)	80

Gambar 3.26	Kotak sampel berbahan <i>acrylic</i> berukuran 40 cm x 40 cm x 40 cm (Pathak, et al., 2013b)	81
Gambar 3.27	a) Sketsa tampak samping <i>laminar box</i> , b) tampak samping <i>laminar box</i> (Chang and Hutchinson, 2010)	82
Gambar 3.28	a) Sketsa tampak atas <i>laminar box</i> , b) tampak atas <i>laminar box</i> (Chang and Hutchinson, 2010)	83
Gambar 4.1	Peta lokasi kejadian likuifaksi saat gempa bumi Yogyakarta 27 Mei 2006 (Soebowo dkk., 2007)	88
Gambar 4.2	Lokasi pengambilan <i>pumice</i> di Kota Mataram	89
Gambar 4.3	Alat Uji triaksial siklik	91
Gambar 4.4	Alat uji <i>shaking table</i>	92
Gambar 4.5	Uji berat volume kering maksimum dan minimum, a) mengisi mould untuk menentukan berat volume kering minimum, b) penggunaan tamper untuk menentukan berat volume kering maksimum, c) meratakan sampel, d) sampel siap ditimbang beratnya	96
Gambar 4.6	Prosedur persiapan sampel dengan metode <i>moist tamping</i> (Dokumentasi Rahmi, 2011)	98
Gambar 4.7	Deskripsi alat uji triaksial siklik di Laboratorium Mekanika Tanah UGM	99
Gambar 4.8	Panel Dial Pressure	100
Gambar 4.9	Sampel siap diuji	100
Gambar 4.10	Tampilan Menu	101
Gambar 4.11	Tipe uji triaksial siklik yang dipilih	101
Gambar 4.12	Akumulator uji triaksial siklik	102
Gambar 4.13	Meja getar tipe R-141	104
Gambar 4.14	Tampak atas kotak sampel di atas meja getar	105
Gambar 4.15	Tampak samping kotak sampel di atas meja getar	105
Gambar 4.16	Kotak sampel dari bahan <i>acrylic</i> berdimensi 0,40 m x 0,40 m x 0,65 m	106
Gambar 4.17	Sketsa alat pluviator	107
Gambar 4.18	Alat pluviator yang digunakan pada penelitian	108
Gambar 4.19	<i>Geodatalog series 6000</i> (Wykeham Farrance, 2008)	109
Gambar 4.20	Pore pressure transducer	110
Gambar 4.21	Alat uji triaksial pemberi tekanan	110
Gambar 4.22	Tabung tekanan berisi air	110
Gambar 4.23	Hasil kalibrasi <i>pressure transducer</i>	111
Gambar 4.24	Amplitudo displacement untuk simpangan gerak meja getar 0,035 m dan frekuensi 1,428 Hz	112
Gambar 4.25	<i>Time-history</i> kecepatan untuk simpangan gerak meja getar 0,035 m dan frekuensi 1,428 Hz	113
Gambar 4.26	<i>Time-history</i> percepatan untuk simpangan gerak meja getar 0,035 m dan frekuensi 1,428 Hz	113

Gambar 4.27	Amplitudo displacement untuk simpangan gerak meja getar 0,024 m dan frekuensi 2,071 Hz	114
Gambar 4.28	<i>Time-history</i> kecepatan untuk simpangan gerak meja getar 0,024 m dan frekuensi 2,071 Hz	114
Gambar 4.29	<i>Time-history</i> percepatan untuk simpangan gerak meja getar 0,024 m dan frekuensi 2,071 Hz	115
Gambar 4.30	Respon spektra percepatan 5% damping tanpa skala	115
Gambar 4.31	Kontrol input percepatan yang akan di- <i>equalize</i>	116
Gambar 4.32	Respon meja getar (<i>feedback channel</i>) pada <i>equalize</i> pertama	117
Gambar 4.33	Proses untuk mengurangi perbedaan antara percepatan input dan respon meja getar untuk <i>equalize</i> pertama	117
Gambar 4.34	Respon meja getar (<i>feedback channel</i>) pada <i>equalize</i> kedua	118
Gambar 4.35	Proses untuk mengurangi perbedaan antara percepatan input dan respon meja getar untuk <i>equalize</i> kedua	118
Gambar 4.36	Respon meja getar (<i>feedback channel</i>) pada <i>equalize</i> ketiga	119
Gambar 4.37	Proses untuk mengurangi perbedaan antara percepatan input dan respon meja getar untuk <i>equalize</i> ketiga	119
Gambar 4.38	Tahap-tahap persiapan sampel untuk uji <i>shaking table</i>	120
Gambar 4.39	Tahapan yang dilakukan dalam penelitian	123
Gambar 5.1	Distribusi ukuran butiran yang diperoleh dari material tanah yang diambil dari lokasi	125
Gambar 5.2	Hasil uji gradasi <i>pumice</i> Mataram, ukuran butiran: a) 9,52 < D < 19 mm, b) 4,75 < D < 9,52 mm, c) 2,00 < D < 4,75 mm, d) 0,85 < D < 4,75 mm	126
Gambar 5.3	Pengaruh angka pori (<i>e</i>) terhadap permeabilitas <i>pumice</i> Mataram	128
Gambar 5.4	Pengaruh kerapatan relatif (D_r) terhadap permeabilitas <i>pumice</i>	128
Gambar 5.5	Pengaruh ukuran butiran <i>pumice</i> Mataram terhadap kuat geser tanah	130
Gambar 5.6	Hasil uji SEM partikel <i>pumice</i> Mataram: a) tertahan saringan No. 10, b) tertahan saringan No. 200	131
Gambar 5.7	Hasil uji EDS <i>pumice</i> Mataram	132
Gambar 5.8	Kurva distribusi pasir dan <i>pumice</i> yang digunakan pada penelitian, serta tingkat potensi likuifaksi berdasarkan kurva Tsucida	133
Gambar 5.9	Pengaruh kerapatan relatif (D_r) terhadap peningkatan rasio kelebihan tekanan air pori	134
Gambar 5.10	Pengaruh ukuran butiran (<i>D</i>) terhadap peningkatan rasio kelebihan tekanan air pori	135
Gambar 5.11	Pengaruh tekanan kekang efektif (σ'_c) terhadap peningkatan rasio kelebihan tekanan air pori	136

Gambar 5.12	Rasio kelebihan tekanan air pori pasir pada kerapataan relatif 30% Maguwo $\sigma'_c = 100$ kPa, $\Delta\sigma$ 50 kPa	137
Gambar 5.13	Kontrol kerapataan relatif sampel pasir, <i>pumice</i> dan pasir mengandung <i>pumice</i> (10%, 30% dan 50%)	139
Gambar 5.14	<i>Time-history</i> untuk amplitudo percepatan 0,35g	140
Gambar 5.15	<i>Time-history</i> untuk amplitudo percepatan 0,38g	141
Gambar 5.16	Peningkatan kelebihan tekanan air pori dan nilai tegangan efektif pasir Maguwo ($a_{maks} = 0,35g$ dengan durasi 7 detik)	142
Gambar 5.17	Rasio kelebihan tekanan air pori pasir Maguwo ($a_{maks} = 0,35g$ dengan durasi 7 detik)	143
Gambar 5.18	Peningkatan tekanan air pori pada <i>pumice</i> ($a_{maks} = 0,35g$ dengan durasi 7 detik)	144
Gambar 5.19	Rasio kelebihan tekanan air pori pada eksperimen <i>pumice</i> Mataram ($a_{maks} = 0,35g$ dengan durasi 7 detik)	145
Gambar 5.20	Peningkatan tekanan air pori pasir Maguwo mengandung 30% <i>pumice</i> Mataram ($a_{maks} = 0,35g$ dengan durasi 7 detik)	146
Gambar 5.21	Rasio kelebihan tekanan air pori pasir mengandung 30% <i>pumice</i> ($a_{maks} = 0,35g$ dengan durasi 7 detik)	146
Gambar 5.22	Peningkatan kelebihan tekanan air pori yang terekam pada PPT Atas ($a_{maks} = 0,35g$ dengan durasi 7 detik)	147
Gambar 5.23	Peningkatan kelebihan tekanan air pori yang terekam pada PPT Tengah ($a_{maks} = 0,35g$ dengan durasi 7 detik)	148
Gambar 5.24	Peningkatan kelebihan tekanan air pori yang terekam di PPT Bawah ($a_{maks} = 0,35g$ dengan durasi 7 detik)	148
Gambar 5.25	Peningkatan tekanan air pori yang terjadi pada model uji pasir ($D_r = 30\%$ dan $a_{maks} = 0,38g$ durasi 60 detik)	149
Gambar 5.26	Rasio kelebihan tekanan air pori model uji pasir ($D_r = 30\%$ dan $a_{maks} = 0,38g$)	150
Gambar 5.27	Peningkatan tekanan air pori pada model uji <i>pumice</i> ($D_r = 30\%$ dan $a_{maks} = 0,38g$ durasi 60 detik)	151
Gambar 5.28	Rasio kelebihan tekanan air pori pada model uji <i>pumice</i> ($D_r = 30\%$ dan $a_{maks} = 0,38g$)	151
Gambar 5.29	Peningkatan kelebihan tekanan air pori dan nilai tegangan efektif pada model uji pasir mengandung 10% <i>pumice</i> ...	152
Gambar 5.30	Rasio kelebihan tekanan air pori untuk model uji pasir mengandung 10% <i>pumice</i>	153
Gambar 5.31	Kelebihan tekanan air pori pada model uji pasir mengandung 30% <i>pumice</i> ($D_r = 30\%$ dan $a_{maks} = 0,38g$ durasi 60 detik)	154
Gambar 5.32	Rasio kelebihan tekanan air pori pada model uji pasir mengandung 30% <i>pumice</i> ($D_r = 30\%$ dan $a_{maks} = 0,38g$ durasi 60 detik)	155

Gambar 5.33	Kelebihan tekanan air pori pada model uji pasir mengandung 50% <i>pumice</i> ($D_r = 30\%$ dan $a_{maks} = 0,38g$ durasi 60 detik)	156
Gambar 5.34	Rasio kelebihan tekanan air pori pada model uji pasir mengandung 50% <i>pumice</i> ($D_r = 30\%$ dan $a_{maks} = 0,38g$ durasi 60 detik)	156
Gambar 5.35	Pengaruh variasi <i>pumice</i> terhadap reduksi tekanan air pori pada PPT Atas ($D_r = 30\%$ dan $a_{maks} = 0,38g$ durasi 60 detik)	157
Gambar 5.36	Pengaruh variasi <i>pumice</i> terhadap reduksi tekanan air pori pada PPT Tengah ($D_r = 30\%$ dan $a_{maks} = 0,38g$ durasi 60 detik)	158
Gambar 5.37	Pengaruh variasi <i>pumice</i> terhadap reduksi tekanan air pori pada PPT Bawah ($D_r = 30\%$ dan $a_{maks} = 0,38g$ durasi 60 detik)	159
Gambar 5.38	Kecenderungan reduksi tekanan air pori terhadap persentase penambahan <i>pumice</i> di PPT Atas	160
Gambar 5.39	Kecenderungan reduksi tekanan air pori terhadap persentase penambahan <i>pumice</i> di PPT Tengah	161
Gambar 5.40	Kecenderungan reduksi tekanan air pori terhadap persentase penambahan <i>pumice</i> di PPT Bawah	161
Gambar 5.41	Perubahan gradasi pada model uji <i>pumice</i> Mataram	164
Gambar 5.42	Perubahan gradasi pada model uji pasir mengandung 30% <i>pumice</i>	165
Gambar 5.43	Perubahan gradasi pada model uji pasir mengandung 50% <i>pumice</i>	167
Gambar 5.44	Uji SEM partikel pasir dan <i>pumice</i> setelah uji shaking.....	170

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 1.1	Parameter karakteristik dinamika tanah dari tiga kecamatan di Kota Mataram (Meidji, 2014)	5
Tabel 1.2	Ringkasan hasil penelitian terhadap potensi likuifaksi <i>pumice</i>	12
Tabel 2.1	Nilai kepadatan relatif pasir (Craig, 1994)	18
Tabel 2.2	Peristiwa gempabumi yang menyebabkan likuifaksi tanah	19
Tabel 2.3	Magnitudo gempabumi dengan nilai pendekatan N_{eq} dan T_{eq} (Seed, 1976)	19
Tabel 2.4	Batasan-batasan ukuran golongan tanah (Das, B.M., 1985)	22
Tabel 2.5	Komposisi kimia beberapa <i>pumice</i> dari sumber berbeda ..	30
Tabel 2.6	Karakteristik <i>pumice</i> dari Nevşehir City dan Waikato	31
Tabel 2.7	Sudut geser dan kohesi batupung dan <i>scoria</i> dari gunung Kelud (Nugraha, dkk)	32
Tabel 3.1	Klasifikasi situs (Badan Standardisasi Nasional, 2012) ...	57
Tabel 3.2	Koefisien situs F_{PGA} (Badan Standardisasi Nasional, 2012)	57
Tabel 3.3	Perbandingan skala model dan <i>prototype</i> pada uji <i>centrifuge</i> (Minaka, 2016)	79
Tabel 3.4	Dimensi <i>shake table</i> , wadah sampel, kerapatan relatif, amplitudo percepatan dan frekuensi getaran uji <i>shaking table</i> sebelumnya	82
Tabel 4.1	Jenis pengujian dan prosedur standar yang digunakan	90
Tabel 4.2	Spesifikasi Operasional meja getar tipr R-141	121
Tabel 4.3	Dimensi cawan yang digunakan untuk mengetahui berat volume kering setiap lapisan pasir	121
Tabel 5.1	Sifat fisik pasir dan <i>pumice</i>	124
Tabel 5.2	Hasil uji berat volume kering minimum dan maksimum <i>pumice</i> Mataram dan pasir Maguwo	127
Tabel 5.3	Komposisi senyawa <i>pumice</i> Mataram	132
Tabel 5.4	Karakteristik butiran sampel yang akan digunakan pada penelitian	133
Table 5.5	Rekapitulasi model uji pasir	141
Tabel 5.6	Analisis perubahan gradasi model uji <i>pumice</i>	163
Tabel 5.7	Perubahan gradasi model uji pasir mengandung 30% <i>pumice</i>	165
Tabel 5.8	Perubahan gradasi untuk model uji pasir mengandung 50% <i>pumice</i>	166

INTISARI

Indonesia merupakan salah satu negara yang berada pada zona gempa bumi aktif yang biasa disebut *ring of fire*. Sejak gempa bumi Aceh tahun 2004 hingga gempa bumi Palu tahun 2018, telah terjadi beberapa kali likuifaksi pasca gempa bumi. Likuifaksi merupakan salah satu fenomena yang terjadi sesaat dan setelah gempa bumi. Fenomena ini mengakibatkan tanah kehilangan kekuatannya yang diikuti dengan longsoran tanah, penyebaran tanah arah lateral atau penurunan tanah yang besar. Sebagian besar fenomena likuifaksi terjadi pada pasir jenuh air dengan kerapatan relatif rendah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *pumice* pada potensi likuifaksi pasir mengandung *pumice*. Distribusi ukuran butir pasir dan *pumice* yang digunakan dalam penelitian berasal dari zona berpotensi likuifaksi. Alat utama yang digunakan adalah triaksial siklik tipe *stress-controlled* dan *shaking table* tipe 1g. Kerapatan relatif sampel dan model uji adalah 30%, metode *wet tamping* digunakan untuk persiapan sampel uji triaksial siklik dan metode *dry pluviation* untuk model uji *shaking table*. Pada uji triaksial siklik, parameter yang digunakan adalah tegangan kekang 100 kPa, tegangan deviator 50 kPa dengan frekuensi beban 1 Hz. Pada uji *shaking table*, beban siklik digunakan sebagai beban gempa, frekuensi alami sistem diperoleh dari *trial and error* menggunakan beberapa massa dan frekuensi yang berbeda. Ada dua frekuensi yang dipilih untuk mendesain *time history* percepatan, yaitu 1,43 Hz dan 2,07 Hz. Amplitudo percepatan yang diperoleh dari frekuensi ini, adalah 0,35g durasi 7 detik dan 0,38g durasi 60 detik. Uji *shaking table* dengan amplitudo percepatan 0,35g dilakukan pada model uji pasir, *pumice* dan pasir mengandung 30% *pumice* dari berat kering pasir. Sedangkan untuk amplitudo 0,38g, uji *shaking table* dilakukan pada pasir, *pumice* dan pasir mengandung *pumice* sebanyak 10%, 30% dan 50% dari berat kering pasir. Untuk mengetahui karakteristik *pumice*, dilakukan uji kuat geser, permeabilitas, uji SEM dan EDS.

Hasil foto SEM memperlihatkan adanya rongga-rongga di dalam partikel *pumice* yang menjadi ciri khas batu apung, dan diperkuat oleh nilai berat volume kering *pumice* yang rendah berkisar 0,54 gr/cm³. Hasil uji EDS menunjukkan bahwa senyawa dominan pada *pumice* adalah silika (SiO₂) dan alumina (Al₂O₃) dengan kandungan masing-masing adalah 56,64% dan 14,91%. Berat volume kering pasir lebih besar dari *pumice* yaitu 1,59 gr/cm³. Peningkatan tekanan air pori pada uji triaksial siklik tidak begitu signifikan, dan sampel belum ada yang mencapai kondisi likuifaksi. Pada uji *shaking table*, kondisi likuifaksi belum terjadi pada aplikasi beban siklik dengan amplitudo percepatan 0,35g dan durasi 7 detik. Pada amplitudo percepatan 0,38g dengan durasi 60 detik, model uji pasir mengalami likuifaksi pada 7 detik setelah uji dimulai. Analisis hasil rekaman *transducer* yang dipasang pada jarak 0,10 m dari permukaan model uji menunjukkan bahwa penambahan *pumice* sebesar 10%, 30% dan 50% dapat mengurangi tekanan air pori sebesar 15%, 62%, dan 85%. Hasil uji gradasi pasca uji *shaking* memperlihatkan bahwa terjadi penambahan butiran halus dari sebelum dan setelah uji *shaking*. Hal ini menunjukkan bahwa partikel *pumice* mengalami gerusan di permukaannya. Gerusan yang terjadi pada partikel *pumice* menyebabkan sudut gesek butiran *pumice* bertambah dan butiran kecil hasil gerusan menjadi pengunci diantara partikel besar. Kondisi ini yang menyebabkan tekanan air pori berkurang secara signifikan.

Kata kunci: pasir, *pumice*, likuifaksi, *shaking table*

ABSTRACT

Indonesia is one of the countries in the active earthquake zone, commonly called the ring of fire. Since the Aceh earthquake in 2004 to the Palu earthquake in 2018, there have been several liquefaction after earthquake event. Liquefaction is one of the phenomena that occurs during and after an earthquake. This phenomenon has resulted in soil loss of strength followed by flow slide, lateral spreading or large land subsidence. Most phenomena of liquefaction occur in saturated sand with low relative density.

This study aims to determine the effect of additional pumice to the potential liquefaction of sand. The grain size distribution curve of sand and pumice that used in the study are from the potential liquefaction zone. The main tool used is stress-controlled cyclic triaxial and shaking table 1g. The relative density of the sample and the test model is 30%, the wet tamping method is used for sample preparation of cyclic triaxial test and dry pluviation method for the shaking table test model. In the cyclic triaxial test, the parameters used are confining pressure of 100 kPa, deviator stress of 50 kPa with a frequency of 1 Hz. In the shaking table test, cyclic loads are used as earthquake loads, the natural frequency of the system is obtained from trial and error using several different masses and frequencies. There are two frequencies selected to design the acceleration time history, which is 1.43 Hz and 2.07 Hz. The amplitude of the acceleration obtained from this frequency is 0.35g duration of 7 seconds and 0.38g duration of 60 seconds. The shaking table test with an acceleration amplitude of 0.35g was carried out on the sand, pumice and sand test models containing 30% pumice by weight of sand. Whereas for the amplitude of 0.38g, the shaking table test was carried out on sand, pumice and sand with pumice additions of 10%, 30% and 50% by weight of the sand. To determine the characteristics of the pumice, shear strength, permeability, SEM and EDS tests were conducted.

The SEM image show the presence of cavities in the pumice particles that are characteristic of pumice, and are strengthened by the value of the low dry density of pumice about 0.54 gr/cm³. The EDS test results showed that the dominant compounds in pumice were silica (SiO₂) and alumina (Al₂O₃) with content of 56.64% and 14.91% respectively. The dry density of sand is greater than the pumice which is 1.59 gr/cm³. The increase in pore water pressure in the cyclic triaxial test is not very significant, and no samples have reached liquefaction conditions. In the shaking table test, liquefaction conditions have not occurred in cyclic load applications with an acceleration amplitude of 0.35g and a duration of 7 seconds. At an acceleration amplitude of 0.38g with a duration of 60 seconds, the sand test model undergoes liquefaction at 7 seconds after the test begins. Analysis of the transducer recordings installed at a distance of 0.10 m from the surface of the test model shows that the addition of pumice at 10%, 30% and 50% can reduce pore water pressure by 15%, 62%, and 85%. The results of the gradation test after the shaking test showed that there were additional fine grains from before and after the shaking test. This shows that the pumice particles experience scouring on the surface. The scour that occurs in the particle pumice causes the friction angle of the pumice particles to increase and the small grain of scouring becomes a lock between large particles. This condition causes pore water pressure to decrease significantly.

Key words: sand, *pumice*, liquefaction, *shaking table*

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Arti Lambang

a_s	: Percepatan getaran tanah maksimum di permukaan.
c	: Kohesi (kN/m ²)
C_u	: Koefisien keseragaman.
C_c	: Koefisien gradasi.
D_{10}	: Diameter butir yang bersesuaian dengan 10% lolos saringan (ukuran efektif).
D_{30}	: Diameter butir yang bersesuaian dengan 30% lolos saringan.
D_{50}	: Diameter butir yang bersesuaian dengan 50% lolos saringan.
D_{60}	: Diameter butir yang bersesuaian dengan 60% lolos saringan.
Δu	: Kelebihan tekanan air pori (kPa)
D_r	: Kerapatan relatif (%).
e	: Angka pori tanah (tanpa dimensi)
e_{min}	: Angka pori minimum.
e_{maks}	: Angka pori maksimum.
f	: Frekuensi beban seismik (Hz)
G	: Kerikil atau <i>Gravel</i> .
G_s	: Berat jenis tanah (tanpa dimensi).
γ	: <i>Ground shear strain</i> .
γ_b	: Berat isi tanah basah (gr/cm ³)
γ_d	: Berat isi tanah kering (gr/cm ³).
$\gamma_{d(min)}$: Berat isi tanah kering minimum (gr/cm ³).
$\gamma_{d(maks)}$: Berat isi tanah kering maksimum (gr/cm ³).
k	: Koefisien permeabilitas (cm/det).
k_g	: Indeks kerentanan seismik.
M	: Magnitudo gempabumi.
N	: Jumlah siklik pada uji triaksial siklik dan uji <i>shaking table</i> .
N_{eq}	: Jumlah siklik ekuivalen
N-SPT	: Nilai/jumlah tumbukan Standard Penetration Test
$(N_1)_{60}$: Nilai N-SPT terkoreksi.
\emptyset	: Sudut gesek (°)
r_u	: Rasio kelebihan tekanan air pori (tanpa dimensi).
S	: Pasir atau <i>Sand</i> .
S_C	: Kelas situs tanah keras, sangat padat dan batuan lunak.
S_D	: Kelas situs tanah sedang.
S_E	: Kelas situs tanah lunak.
σ	: Tegangan total (kPa)
σ_d	: Tegangan deviator (kPa)
σ'	: Tegangan efektif (kPa)
σ'_o	: Tekanan kekang efektif awal (kPa)
T_{eq}	: Periode ekuivalen
u	: Tekanan air pori (kPa)

w : Kadar air tanah (%)

Singkatan

AASHTO : Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM : American Society of Testing and Materials
BMKG : Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika
BPBD : Badan Penanggulangan Bencana Daerah
BT : Bujur Timur
CSR : Cyclic Stress Ratio
EDS : Energy Dispersion X-ray Spectroscopy
LS : Lintang Selatan
KLU : Kabupaten Lombok Utara
PGA : Peak Ground Acceleration
PPT : Pore Pressure Transducer
SEM : Scanning Electron Microscope
USCS : Unified Soil Classification System