

TUGAS AKHIR

ANALISA FENOMENA LIKUIFAKSI AKIBAT GEMPA

PALU – DONGGALA, SEPTEMBER 2018

Diajukan sebagai persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Teknik Strata 1 (S-1)



Disusun Oleh :

NAMA : TIARA GITA AYU NADIA

NIM : 41116010138



Dosen Pembimbing :

Ir. Desiana Vidayanti, M.T

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCUBUANA
2020**

**LEMBAR PERNYATAAN
SIDANG SARJANA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Tiara Gita Ayu Nadia
Nomor Induk Mahasiswa : 41116010138
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini merupakan kerja asli, bukan jiplakan (duplikat) dari karya orang lain. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi berupa pembatalan gelar kesarjanaannya saya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya untuk dapat di pertanggung jawabkan sepenuhnya.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 29 Agustus 2020

Yang memberikan pernyataan

METERAI
TEMPEL
TGL. 20
A5FCEAHF406658064
6000
ENAM RIBU RUPIAH

Tiara Gita Ayu Nadia



**LEMBAR PENGESAHAN SIDANG
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA**

Q

Tugas akhir ini untuk melengkapi tugas-tugas dan memenuhi persyaratan dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik, jenjang pendidikan Strata 1 (S-1), Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Jakarta.

Judul Tugas Akhir : Analisa Fenomena Likuifaksi Akibat Gempa Palu-Donggala, September 2018

Disusun oleh :

Nama : Tiara Gita Ayu Nadia
NIM : 41116010138
Program Studi : Teknik Sipil

Telah diujikan dan dinyatakan **LULUS** pada sidang sarjana :

Tanggal : 29 Agustus 2020

Mengetahui
Pembimbing Tugas Akhir

(Ir. Desiana Vidayanti, M.T.)

Ketua Penguji

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

(Dr. Ir. Pintor Tua Simatupang, M.T.Eng)

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Acep Hidayat, S.T., M.T.

ABSTRAK

Judul: “ANALISA FENOMENA LIKUIFAKSI AKIBAT GEMPA PALU-DONGGALA, SEPTEMBER 2018”

Nama: Tiara Gita Ayu Nadia, Nim: 41116010138, Dosen Pembimbing: Ir. Desiana Vidayanti, MT., 2019.

Kejadian gempa bumi yang mengguncang Kota Palu dan Kabupaten Donggala pada tanggal 28 September 2018 telah diikuti oleh peristiwa likuifaksi yang sangat dahsyat. Peristiwa likuifaksi ini telah menimbulkan korban jiwa dan kerusakan besar yang memporak-porandakan empat desa yang ada di Kota Palu dan sekitarnya, yaitu Desa Balaroa, Petobo, Jono Oge – Lolu, dan Sibalaya yang setiap desa tersebut terletak di sepanjang sesar Palu-Koro.

Penelitian ini dilakukan untuk menelusuri lebih dalam mengenai mekanisme dari fenomena likuifaksi akibat gempa Palu-donggala, September 2018 dengan menelusuri peristiwa likuifaksi besar yang pernah terjadi di masa lalu. Pengumpulan data yang digunakan sebagai dasar analisis, diambil dari kumpulan studi literatur berupa jurnal-jurnal yang sudah ada dan data dokumentasi berupa gambar dimana kejadian likuifaksi telah berlangsung. Hasil analisis data diperoleh bahwa fenomena yang dihasilkan pada likuifaksi terdahulu hampir sama namun memiliki dampak yang berbeda tergantung dengan kondisi lingkungan setempat. Salah satunya seperti fenomena *sand boils* di Niigata dan di Distrik Marina. *Sand boils* yang terjadi di Niigata mengeluarkan lontaran air dan pasir dari dalam tanah ke udara, sedangkan ini tidak terjadi di Distrik Marina. Hal ini dikarenakan pipa-pipa utilitas di Distrik Marina tertanam di bawah tanah yang tidak bisa terlikuifaksi atau di samping trotoar aspal.

Selain itu hasil analisis menunjukkan bahwa berdasarkan kriteria historis, geologis dan komposisinya, Kota Palu memang rawan terhadap likuifaksi. Mekanisme pergerakan tanah di Petobo, Jono Oge dan Sibalaya mempunyai kemiripan dimana *liquefaction-induced progressive landslide* dan banjir lumpur akibat terbukanya saluran irigasi, merupakan mekanisme utama yang diperkirakan terjadi di ketiga desa ini, sedangkan di Balaroa diperkirakan terjadi mekanisme likuifaksi yang berbeda karena kemungkinannya tidak terdapat *sand boils* yang ditemukan dan tidak adanya saluran irigasi di desa ini. Oleh karena itu, Petobo, Jono Oge, dan Sibalaya terjadi fenomena seperti *sand boils*, *flow liquefaction*, *flow slides* dan *lateral spreading*, sedangkan di Balaroa diperkirakan hanya terjadi fenomena *lateral spreading* dan *flow liquefaction*. Kejadian gempa bumi dan peristiwa likuifaksi ini juga menghasilkan dampak yang begitu besar bagi penduduk setempat, salah satunya dalam bidang sosial dan ekonomi dengan banyaknya penduduk yang kehilangan rumah maupun mata pencahariannya. Untuk menanggulangi ini, pemerintah dan para relawan bahu membahu memulihkan Kota ini, salah satunya dengan membangun hunian baru bagi warga terdampak.

Kata Kunci: Gempa Bumi; Likuifaksi; Fenomena; Mekanisme

ABSTRACT

TITLE: “LIQUEFACTION PHENOMENON ANALYSIS DUE TO THE PALU-DONGGALA EARTHQUAKE, SEPTEMBER 2018”

Name: Tiara Gita Ayu Nadia, Nim: 41116010138, Supervisor: Ir. Desiana Vidayanti, MT., 2019.

The earthquake that rocked Palu City and Donggala District on September 28, 2018 was followed by a very powerful liquefaction event. This liquefaction incident has caused casualties and major damage that devastated four villages in Palu City and its surroundings, namely Balaroa, Petobo, Jono Oge - Lolu, and Sibalaya villages, each of which is located along the Palu-Koro fault.

This research was conducted to explore more deeply the mechanism of the liquefaction phenomenon due to the Palu-donggala earthquake, September 2018 by tracing major liquefaction events that have occurred in the past. The data collection used as the basis for the analysis was taken from a collection of literature studies in the form of existing journals and documentation data in the form of pictures where the liquefaction event took place. The results of data analysis showed that the phenomena generated in the previous liquefaction were almost the same but had different impacts depending on local environmental conditions. One of them is the phenomenon of sand boils in Niigata and in the Marina District. The sand boils that occurred in Niigata ejected water and sand from the ground into the air, whereas this did not happen in the Marina District. This is because utility pipes in the Marina District are buried underground that are non-liquefied or beside asphalt pavements.

In addition, the analysis shows that based on historical, geological and composition criteria, Palu City is indeed vulnerable to liquefaction. The mechanism of soil movement in Petobo, Jono Oge and Sibalaya is similar in that liquefaction-induce progressive landslide and mud flooding due to the opening of irrigation channels, are the main mechanisms estimated to occur in these three villages, while in Balaroa it is estimated that there will be a different liquefaction mechanism because there may be no sand boils are found and there is no irrigation channel in this village. Therefore, Petobo, Jono Oge, and Sibalaya occur phenomena such as sand boils, flow liquefaction, flow slides and lateral spreading, whereas in Balaroa it is estimated that only lateral spreading and flow liquefaction phenomena occur. The earthquake and liquefaction events also had a huge impact on the local population, one of which was in the social and economic fields, where many people lost their homes and their livelihoods. To overcome this, the government and volunteers work hand in hand to restore this city, one of which is by build new housing for affected residents.

Kata Kunci: Earthquake; Liquefaction; Phenomenon; Mechanism

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik, lancar, serta tepat waktu. Penelitian yang dilaksanakan pada awal bulan Maret 2020 ini mengambil tema likuifaksi, dengan judul tugas akhir Analisa Fenomena Likuifaksi Akibat Gempa Donggala – Palu, September 2018.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan tanpa dukungan dari berbagai pihak, baik moral maupun materil. Untuk itu ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. Ibu, kakak kakak, dan keluarga dan keluarga yang selalu memberikan doa dan memenuhi segala kebutuhan selama kuliah di Universitas Mercu Buana hingga mendapatkan gelar Strata Satu (S1).
2. Bapak Acep Hidayat, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil.
3. Ibu Ir. Desiana Vidayanti, M.T selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penelitian dan penulisan tugas akhir ini.
4. Para dosen dan staff program studi Teknik Sipil yang telah membekali ilmu selama kuliah di Universitas Mercu Buana
5. Teman-Teman yang sering memberikan support dan banyak informasi selama pengerjaan TA berlangsung yaitu, Septi, Winda, Widya, Alvin, Ria, Laila, Salma, Bulan, dan Ita

Akhir kata diucapkan terima kasih pada semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini. Menyadari bahwa penulisan ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena diharapkan atas segala saran dan masukan dari

berbagai pihak demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat untuk pembaca dan bisa menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan semua pihak khususnya dalam bidang teknik sipil.

Jakarta, 10 Agustus 2020

Tiara Gita Ayu Nadia

NIM. 41116010138



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Identifikasi Masalah.....	I-3
1.3 Perumusan Masalah	I-4
1.4 Tujuan Penelitian	I-4
1.5 Manfaat Penelitian	I-5
1.6 Pembatasan dan Ruang Lingkup Masalah	I-5
1.7 Sistematika Penulisan	I-6
BAB II TINJAUAN PUSAKA DAN KERANGKA BERFIKIR	II-1
2.1 Likuifaksi	II-1
2.1.1 Definisi Likuifaksi	II-1
2.1.2 Mekanisme Likuifaksi.....	II-2
2.1.2.1 Proses Terjadinya Likuifaksi	II-2
2.1.3 Fenomena Likuifaksi.....	II-3
2.1.4 Faktor Faktor Yang Mempengaruhi Likuifaksi	II-8
2.1.5 Kriteria Kerentanan Likuifaksi	II-11
2.2 Gempa Bumi	II-16
2.2.1 Karakteristik Gempa	II-16
2.2.2 Parameter Gempa	II-19
2.2.3 Ukuran Kekuatan Gempa	II-21
2.3 Gempa Yang Terjadi di Berbagai Daerah Yang Menyebabkan Likuifaksi	II-22
2.4 Tanah	II-25
2.4.2 Definisi Taanah	II-25
2.4.2 Tanah Pasir	II-26
2.5 Penelitian Terdahulu	II-27

2.6	Kerangka Berfikir	II-30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		III-1
3.1	Tahapan Penelitian.....	III-1
3.2	Metode Penelitian	III-3
3.2.1	Pemilihan Lokasi Penelitian.....	III-3
3.2.2	Pengumpulan Data Penelitian	III-4
3.2.3	Analisis Data	III-4
3.2.4	Hasil Analisis Data.....	III-4
3.2.5	Kesimpulan dan Saran.....	III-5
3.3	Jadwal Penelitian	III-5
BAB IV FENOMENA-MEKANISME LIKUIFAKSI DI MASA LALU		IV-1
4.1	Umum	IV-1
4.2	Likuifaksi di Niigata	IV-1
4.2.1	Fenomena Likuifaksi di Niigata, Jepang.....	IV-2
4.2.2	Mekanisme Likuifaksi di Niigata, Jepang.....	IV-4
4.3	Likuifaksi di Alaska, USA.....	IV-7
4.3.1	Fenomena Likuifaksi di Alaska, USA	IV-8
4.3.2	Mekanisme Likuifaksi di Alaska, USA	IV-10
4.4	Likuifaksi di Tangshan, China	IV-14
4.4.1	Fenomena dan Penyebab Terjadinya Likuifaksi di Tangshan, China.....	IV-17
4.5	Likuifaksi Akibat Gempa Loma Prieta, California.....	IV-23
4.5.1	Fenomena Likuifaksi Akibat Gempa Loma Prieta, California	IV-23
4.5.2	Penyebab Terjadinya Likuifaksi Akibat Gempa Loma Prieta, California ..	IV-28
4.6	Likuifaksi di Bendungan San Fernando Bagian Bawah.....	IV-31
4.6.1	Fenomena Likuifaksi di Bendungan San Fernando Bagian Bawah.....	IV-33
4.6.2	Mekanisme Likuifaksi di Bendungan San Fernando Bagian Bawah.....	IV-34
4.7	Likuifaksi akibat Gempa Luzon, Filipina	IV-36
4.7.1	Fenomena Likuifaksi Akibat Gempa Luzon, Filipina.....	IV-37
4.7.2	Mekanisme Likuifaksi Akibat Gempa Luzon, Filipina.....	IV-40
4.8	Likuifaksi di Christchurch, New Zealand.....	IV-43
4.8.1	Mekanisme Likuifaksi di Christchurch, New Zealand	IV-44
4.8.2	Fenomena Likuifaksi di Christchurch, New Zealand	IV-45
4.9	Likuifaksi di Haiti.....	IV-49
4.9.1	Fenomena Likuifaksi di Haiti.....	IV-49
4.10	Likuifaksi di Maumere.....	IV-52
4.11	Likuifaksi di Aceh	IV-55

4.12	Likuifaksi di Yogyakarta	IV-57
4.12.1	Fenomena Likuifaksi di Yogyakarta	IV-59
4.12.2	Penyebab Terjadinya Likuifaksi di Yogyakarta.....	IV-59
4.13	Likuifaksi di Bengkulu	IV-60
4.13	Likuifaksi di Padang, Sumatera Barat	IV-63
4.13.1	Fenomena Likuifaksi di Padang.....	IV-64
4.13.2	Mekanisme Likuifaksi di Padang, Sumatera Barat	IV-68
4.14	Likuifaksi diLombok, NTB	IV-70
4.15	Tabel Perbandingan	IV-73
BAB V ANALISIS FENOMENA-MEKANISME LIKUIFAKSI AKIBAT GEMPA PALU DONGGALA		V-1
5.1	Umum	V-1
5.2	Kondisi Umum Palu.....	V-2
5.2.1	Morfologi Palu	V-2
5.2.1	Geologi dan Struktur Geologi Palu.....	V-4
5.2.1	Kegempaan Palu.....	V-6
5.3	Kerentanan Likuifaksi Palu	V-10
5.3.1	Kriteria Historis.....	V-10
5.3.1	Kriteria Geologis.....	V-11
5.3.1	Kriteria Komposisi	V-12
5.4	Likuifaksi di Balaroo	V-13
5.4.1	Fenomena Likuifaksi di Balaroo	V-16
5.4.1	Mekanisme Likuifaksi di Balaroo	V-21
5.5	Likuifaksi di Petobo.....	V-25
5.5.1	Fenomena Likuifaksi di Petobo	V-27
5.5.1	Mekanisme Likuifaksi di Petobo	V-36
5.6	Likuifaksi di Jono Oge.....	V-41
5.6.1	Fenomena Likuifaksi di Jono Oge	V-44
5.6.1	Mekanisme Likuifaksi di Jono Oge	V-55
5.7	Likuifaksi di Sibalaya	V-63
5.7.1	Fenomena Likuifaksi di Sibalaya.....	V-64
5.7.1	Mekanisme Likuifaksi di Sibalaya.....	V-70
5.8	Analisis Perbandingan Fenomena Likuifaksi di Palu Dengan Tempat Lain ...	V-75
5.9	Dampak Fenomena Likuifaksi di Palu.....	V-79
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		VI-1
6.1	Kesimpulan	VI-1

6.2	Saran	VI-3
DAFTAR PUSTAKA	Pustaka -1
DAFTAR LAMPIRAN	Lampian - 1



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Tiga lempeng tektonik aktif Indonesia	I-1
Gambar 1.2 Cincin Asia Pasific.....	I-2
Gambar 2.1 Partikel dposit tanah sebelum dan setelah terlikuifaksi	II-3
Gambar 2.2 Mekanisme ground oscillation.....	II-4
Gambar 2.3 Contoh Terjadinya flow liquefaction	II-5
Gambar 2.4 Mekanisme Lateral Spreading	II-8
Gambar 2.5 Salah satu contoh terjadinya sand boils akibat likuifaksi	II-8
Gambar 2.6 Profil tanah yang mengalami likuifaksi	II-10
Gambar 2.7 Klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butiran.....	II-11
Gambar 2.8 Grafik hubungan antara jarak episentral dengan magnitude gempa	II-12
Gambar 2.9 Identifikasi tanah yang berpotensi mengalami likuifaksi dengan grafik Tsuchida.....	II-15
Gambar 2.10 Klasifikasi tanah untuk identifikasi potensi likuifaksi dari uji sondir ..	II-16
Gambar 2.11 <i>Accelerograph Record</i>	II-17
Gambar 2.12 Keretakan pada jalan.....	II-18
Gambar 2.13 Kerusakan bangunan akibat gempa	II-18
Gambar 2.14 Penempatan hiposenter dan episenter saat terjadi gempa bumi.....	II-20
Gambar 2.15 Gempa Nigata	II-23
Gambar 2.16 Gempa Tangshan	II-23
Gambar 2.17 Gempa ChristChurch	II-24
Gambar 2.18 Gempa Pohang.....	II-24
Gambar 2.19 Gempa San Fransisco.....	II-25
Gambar 2.20 Diagram komponen penyusun tanah.....	II-26
Gambar 3.1 <i>Flow chart</i> penelitian	III-2
Gambar 3.2 Peta lokasi penelitian	III-3
Gambar 4.1 Sand boils di Niigata, Jepang.....	IV-2
Gambar 4.2 Jembatan Showa di Niigata, Jepang yang mengalami kemiringan lateral	IV-3
Gambar 4.3 Apartemen di Niigata, Jepang mengalami settlement.....	IV-3
Gambar 4.4 Profil tanah dan CPT resistensi di Kawagishi-cho	IV-6
Gambar 4.5 Profil tanah dan CPT resistensi di South Bank	IV-6
Gambar 4.6 Anchorage, Alaska sesudah gempa 1964.....	IV-8
Gambar 4.7 Likuifaksi di Turnagaian Heights yang memicu tanah longsor	IV-9

Gambar 4.8 Pemandangan tanah longsor Turnagain Heights dari udara. Daerah ini sekarang telah menjadi Taman Gempa Bumi	IV-9
Gambar 4.9 Valdez, Alaska setelah dermaga dan sebagian Kota meluncur ke laut diatas anah longsor	IV-10
Gambar 4.10 Strength of samples of silty clay under cyclic loading conditions	IV-12
Gambar 4.11 Stresses induced liquefaction of sand under cyclic loading conditions... ..	IV-13
Gambar 4.12 Sand boil di Area Slide	IV-15
Gambar 4.1 Sand boils di Niigata, Jepang.....	IV-2
Gambar 4.2 Jembatan Showa di Niigata, Jepang yang mengalami kemiringan lateral	IV-3
Gambar 4.3 Apartemen di Niigata, Jepang mengalami settlement.....	IV-3
Gambar 4.4 Profil tanah dan CPT resistensi di Kawagishi-cho	IV-6
Gambar 4.5 Profil tanah dan CPT resistensi di South Bank.....	IV-6
Gambar 4.6 Anchorage, Alaska sesudah gempa 1964.....	IV-8
Gambar 4.7 Likuifaksi di Turnagaian Heights yang memicu tanah longsor	IV-9
Gambar 4.8 Pemandangan tanah longsor Turnagain Heights dari udara. Daerah ini sekarang telah menjadi Taman Gempa Bumi	IV-9
Gambar 4.9 Valdez, Alaska setelah dermaga dan sebagian Kota meluncur ke laut diatas anah longsor	IV-10
Gambar 4.10 Strength of samples of silty clay under cyclic loading conditions	IV-12
Gambar 4.11 Stresses induced liquefaction of sand under cyclic loading conditions... ..	IV-12
Gambar 4.12 Sand boil di Area Slide	IV-14
Gambar 4.13 Zona likuifaksi selama gempa Tangshan.....	IV-16
Gambar 4.14 Sebuah jembatan runtuh akibat likuifaksi di Tangshan	IV-18
Gambar 4.15 Zona likuifaksi di Kota Tiangjin dan distribusi Sand Boils dekat pabrik Mao Tiao selama gempa Tangshan	IV-19
Gambar 4.16 Rumah tenggelam ke dalam tanah di Desa Yao Yuan, Kabupaten Le Ting akibat gempa Tangshan	IV-19
Gambar 4.17 N—values dihitung di desa Yao Yuan, Kabupaten Le Ting	IV-21
Gambar 4.18 Rel bengkok setelah gempa	IV-22
Gambar 4.19 Pavement Buckling mengindikasikan kompresi lateral di Distrik Marina, San Fransisco	IV-24
Gambar 4.20 Bangunan 4 Lantai di Shotwell dekat 18th Street rusak akibat likuifaksi yang memicu perpindahan pondasi pada Gempa Loma Prieta.....	IV-24
Gambar 4.21 Sand Boils Besar Menutupi seluruh halaman belakang sebuah rumah.	IV-25
Gamabr 4.22 Sand Boils Yang Besar Berdekatan dengan Runway di Stasiun Udara Angkatan Laut Alameda	IV-26

Gambar 4.23 Peta Santa Cruz yang menunjukkan likuifaksi terkait fitur Setelah Gempa Loma Prieta.....	IV-27
Gambar 4.24 Kerusakan pada Fasilitas Penelitian Kelautan Moss Landing sebagai hasil dari penurunan dan lateral spreading	IV-27
Gambar 4.25 Kurva distribusi ukuran butir dari 3 sampel sand boils, dengan distribusi butiran pantai dan bukit pasir.....	IV-31
Gambar 4.26 Waduk dan Bendungan San Fernando	IV-33
Gambar 4.27 Hulu Bendungan	IV-34
Gambar 4.28 Penampakan Head scrap	IV-34
Gambar 4.29 Penampakan lebih dekat head scrap	IV-34
Gambar 4.30 Analisis slide di Bendungan San Fernando selama gempa bumi	IV-35
Gambar 4.31 Area Kota Dagupan yang terkena dampak likuifaksi	IV-37
Gambar 4.32 Tekuk pipa yang terkubur	IV-38
Gambar 4.33 Bangunan di Jalan Perez yang miring dan hampir tenggelam	IV-38
Gambar 4.34 Jembatan Magsaysay runtuh	IV-39
Gambar 4.35 Hasil N-SPT Kota Dagupan.....	IV-41
Gambar 4.36 A dan B Profil soil yang mengalami likuifaksi di Dagupan	IV-42
Gambar 4.37 Likuifaksi yang menyebabkan banjir di Pinggiran Kota Christchurch	IV-46
Gambar 4.38 Banjir di pinggiran kota Aranui dan Banjir di Jalan dan Perumahan Bromlry.....	IV-47
Gambar 4.39 Sedimen likuifasi yang berbentuk kerucut dan sedimen likuifaksi yang memblokir sebuah jalan membuat sebuah truck terperangkap di atasnya.....	IV-48
Gambar 4.40 Sebuah mobil ditarik kedalam lubang bersama dengan liquefaction sediment flow.....	IV-48
Gambar 4.41 Setelah terjadinya gempa bumi di Port Au Prince	IV-50
Gambar 4.42 Keretakan pada tanah di Port Au Prince	IV-51
Gambar 4.43 Lateral spreading di Bagian Fasilitas Port	IV-51
Gambar 4.44 Hasil SPT dan DCPT untuk analisis likuifaksi di Permukaan Tanah di Pot Au Prince	IV-52
Gambar 4.45 Gempa Flores 1992	IV-54
Gambar 4.46 Likuifaksi di Maumere.....	IV-55
Gambar 4.47 Peta mikrozonasi kerentanan penurunan permukaan tanah akibat likuifaksi untuk wilayah Kota Banda Aceh.	IV-56
Gambar 4.48 Fenomena penurunan pondasi bangunan bertingkat akibat likuifaksi saat gempa bumi 24 Desember 2004	IV-57
Gambar 4.49 Bekas sandboils di Kecamatan Jetis, Bantul.....	IV-58
Gambar 4.50 Bekas sandboils di Kecamatan Jetis, Bantul.....	IV-58

Gambar 4.51 Tipikal lapisan tanah yang mudah mengalami likuifaksi di daerah Patalan, Jogjakarta.	IV-60
Gambar 4.52 Peta penurunan akibat likuifaksi di daerah Patalan, Bantul, Jogjakarta	IV-60
Gambar 4.53 Kegagalan dinding penahan dan perpindahan lateral, gempa Bengkulu 2000	IV-61
Gambar 4.54 Perpindahan Lateral di Badan Jalan Akibat Gempa Bumi Bengkulu, 2007	IV-62
Gambar 4.55 Penurunan tanah sebuah rumah di Bengkulu.	IV-62
Gambar 4.56 Lantai pertama sebuah bangunan kantor mengalami penurunan tanah....	IV-65
Gambar 4.57 Pondasi mengalami penurunan di sebuah rumah akibat likuifaksi di Koto Tangah, Padang.....	IV-65
Gambar 4.58 Retakan di jalan sekitaran Teluk Padang karena lateral spreading.....	IV-66
Gambar 4.59 Penampakan gejala pergeseran dan amblesan di sekitar dinding dekat altar	IV-67
Gambar 4.60 Retakan diagonal (akibat differential settlement) dan amblesan menunjukkan gejala penurunan akibat cyclic mobility tanah pasir di bawah bangunan	IV-67
Gambar 4.61 Pergeseran Lateral kolom dan dinding terlihat dari misalignment tembok	IV-67
Gambar 4.62 Analisis Potensi Likuifaksi di Padang	IV-69
Gambar 4.63 Cross section of potentially liquefiable soil layers across the line D-D'...	IV-69
Gambar 4.64 Hasil analisa likuifaksi di daerah Cathedral	IV-70
Gambar 4.65 (kiri) Pergerakan tanah pada tepi jembatan daerah Bayan, Lombok Utara dan (kanan) lateral spread yang diikuti oleh likuifaksi (kotak merah).	IV-72
Gambar 4.66 Jejak likuifaksi (liquefaction), retakan tanah yang disertai dengan keluarnya air bersamaan dengan lumpur.	IV-72
Gambar 4.67 Lubang-lubang hasil likuifaksi yang banyak dijumpai di daerah sekitar pantai. Lubang yang terbentuk di tepi pantai cenderung membentuk kerucut terbalik (kanan).	IV-73
Gambar 5.1 Letak geografis Palu	V-2
Gambar 5.2 Peta morfologi.....	V-4
Gambar 5.3 Peta geologi.....	V-5
Gambar 5.4 Segmen sesar aktif sesar bagian Palu Koro	V-6
Gambar 5.5 Epicenter gempa bumi Sulawesi 2018.....	V-7
Gambar 5.6 Historis gempa bumi Palu, Sulawesi Tengah selama 100 tahun	V-10
Gambar 5.7 Kriteria historis gempa di Palu yang berdampak terhadap likuifaksi.....	V-11
Gambar 5.8 Gradasi ukuran butir dari beberapa lokasi menunjukkan tanah pasir di Palu merupakan jenis tanah yang mudah terlikuifaksi	V-12

Gambar 5.9 Topografi Balaroa sebelum terjadinya gempa bumi dan kegagalan tanah	V-13
Gambar 5.10 Profil tanah Balaroa yang diambil diawal tempat pertama terjadinya likuifaksi	V-14
Gambar 5.11 Penampang kondisi awal Balaroa	V-16
Gambar 5.12 Likuifaksi di Balaroa.....	V-16
Gambar 5.13 Keadaan rumah warga sebelum dan sesudah terjadi likuifaksi	V-17
Gambar 5.14 Bangunan gedung pendidikan sebelum mengalami Likuifaksi	V-17
Gambar 5.15 Sisa runtuh bangunan sekolah dan rumah warga	V-18
Gambar 5.16 Jalan runtuh akibat longsoran saat likuifaksi	V-18
Gambar 5.17 Mahkota longsoran saat terjadi flow liquefaction di Perumnas Balaroa... ..	V-18
Gambar 5.18 Bekas longsoran lereng di bagian atas Balaroa sepanjang jalan Gunung Gawalise.....	V-19
Gambar 5.19 Masjid kuning berpindah posisi sampai dengan jarak 218 m.....	V-20
Gambar 5.20 Menara masjid setelah terseret oleh aliran tanah saat likuifaksi.....	V-20
Gambar 5.21 Air menggenang saat gempa bumi.....	V-21
Gambar 5.22 Penampang ketika terjadi gempabumi	V-22
Gambar 5.23 Penampang ketika terjadi gerakan tanah.....	V-22
Gambar 5.24 Wilayah Desa Petobo sebelum terjadi gempa bumi	V-25
Gambar 5.25 Wilayah Desa Petobo yang mengalami likuifaksi akibat gempa bumi.V-27	
Gambar 5.26 Petobo Atas yang telah rata akibat flow liquefaction yang menyeret semua bangunan yang ada diatasnya	V-28
Gambar 5.27 Tampak kerusakan akibat flow liquefaction di Desa Petobo, Sulawesi Tengah	V-29
Gambar 5.28 Rumah Sakit Bersalin Nasanapura sebelum gempa bumi 28 September 2018	V-30
Gambar 5.29 Keadaan Rumah Sakit yang merupakan titik akhir flow likuifaksi alir V-30	
Gambar 5.30 Tanah asli yang terbawa oleh aliran lumpur saat likuifaksi yang berhenti tepat didepan Rumah Sakit Bersalin Nasanapura	V-31
Gambar 5.31 Saluran irigasi di Desa Petobo sebelum terjadi Gempa	V-32
Gambar 5.32 Saluran irigasi yang menjadi kering dan terdapat retakan tanah akibat lateral spreading.....	V-32
Gambar 5.33 Titik awal dan celah-celah permukaan tanah di jembatan akibat lateral spreading.....	V-33
Gambar 5.34 Kerusakan jalan akibat lateral spreading by translation	V-33
Gambar 5.35 Perumahan Petobo sebelum gempa Donggala - Palu	V-34
Gambar 5.36 Rumah-rumah yang runtuh setelah terjadi gempa bumi	V-34

Gambar 5.37 Rumah yang masih tetap berdiri ketika dibawa oleh tanah yang mengalir saat terjadi likuifaksi. Tumpukan lumpur dan bangunan setinggi 4.5 m sebelum dilakukan pengurukan.....	V-35
Gambar 5.38 Setelah gempa bumi banyak tumbuhan yang runtuh dan tanah terbagi menjadi dua dan amblas.....	V-35
Gambar 5.39 Sand Boils yang ditemukan di Petobo	V-36
Gambar 5.40 Kondisi awal Petobo	V-38
Gambar 5.41 Kondisi ketika terjadi gempabumi	V-38
Gambar 5.42 Sesaat ketika usai gempabumi	V-39
Gambar 5.43 Bentukan tinggian dan rendahan akibat lateral spreading di dekat bagian mahkota.....	V-39
Gambar 5.44 Undulasi (tanah bergelombang) yang terjadi di sekitar bagian kaki (Toe) Petobo	V-40
Gambar 5.45 Sebelum terjadi gempa bumi di Jono Oge	V-41
Gambar 5.46 Lokasi keruntuhan pintu air dan titik kebocoran.	V-42
Gambar 5.47 Profil tanah Jono Oge.....	V-43
Gambar 5.48 Area Saluran Irigasi Gumbasa Jono Oge yang mengalami flow liquefaction	V-44
Gambar 5.49 Bekas sand boil ditepi rumah penduduk di Kompleks BTN.....	V-45
Gambar 5.50 Bekas Lumpur kering di Jembatan	V-46
Gambar 5.51 Rumah yang tidak bergerak di Jono Oge	V-46
Gambar 5.52 Area persawahan yang mengalami lateral spreading, sand blows dan flow liquefaction	V-47
Gambar 5.53 Struktur mengalami uplift di SPBU Jono Oge.....	V-47
Gambar 5.54 Fenomena lateral spreading di Jono Oge	V-48
Gambar 5.55 Fenomena lateral spreading di sawah dan jalan menuju Perumnas BTN.. ..	V-48
Gambar 5.56 Situasi di desa Lolu yang terkena dampak likuifaksi alir	V-49
Gambar 5.57 Toilet SPBU yang terpisah dari mini market bagian dan kemiringan bangunan yang cukup ekstrem	V-50
Gambar 5.58 Mini Market SPBU yang amblas akibat penurunan tanah saat peristiwa likuifaksi	V-50
Gambar 5.59 Rumah yang terletak di samping SPBU mengalami runtuh dan retak-retak akibat lateral spreading	V-51
Gambar 5.60 Rumah yang terletak di samping SPBU mengalami runtuh dan retak-retak akibat lateral spreading	V-52
Gambar 5.61 Pergeseran sebagian Perumnas BTN di Desa Lolu.....	V-53
Gambar 5.62 Perumahan BTN yang mengalami kerusakan akibat likuifaksi	V-53
Gambar 5.63 (a) Foto lokasi Desa Jono Oge yang telah hilang dan berubah menjadi kebun jagung dan pohon kelapa	

(b) Foto udara Desa Jono Oge	V-54
Gambar 5.64 (a) Tanah pertanian yang terbelah di Desa Jono Oge; (b) Permukaan tanah yang rusak dan ditumbuhi rumput dan ilalang di Desa Jono Oge.	V-55
Gambar 5.65 Retakan di Saluran Irigasi disebabkan Oleh Lateral Spreading Karna Likuifaksi	V-56
Gambar 5.66 Kerusakan Saluran Irigasi di Jono Oge.....	V-60
Gambar 5.67 Flow Distance Structure in Jono Oge	V-61
Gambar 5.68 Profil Tanah Dari Rumah Yang Tidak Bergerak	V-62
Gambar 5.69 Rumah yang bertahan di tengah aliran lumpur (flow liquefaction) sekitarnya	V-63
Gambar 5.70 Wilayah Desa Sibalaya sebelum terjadinya gempa bumi	V-63
Gambar 5.71 Peta Orthomosaic yang menggambarkan lokasi map sand boils, vector displacements, dan zones delimited.....	V-64
Gambar 5.72 Foto satelit oleh Google Earth sebelum gempa bumi dan beberapa foto kerusakan di desa Sibalaya	V-65
Gambar 5.73 Fenomena rumah warga yang berpindah saat mengalami likuifaksi	V-65
Gambar 5.74 Saluran irigasi yang mengalami lateral spreading	V-66
Gambar 5.75 Pintu Air Saluran Irigasi Gumbasa yang mengalami kerusakan akibat likuifaksi	V-66
Gambar 5.76 Area Saluran Irigasi Gumbasa setelah likuifaksi	V-67
Gambar 5.77 Penampakan saluran Air yang bentuk saluran air besar karena efek gerusan dinding samping yang menghilangkan semua lapisan beton	V-67
Gambar 5.78 Pola penyebaran lateral yang menutupi pesawahan di bawahnya	V-68
Gambar 5.79 Sand Boils di Sibalaya.....	V-68
Gambar 5.80 Sand Boils Yang Besar di Sibalaya	V-69
Gambar 5.81 Foto-foto dasar dari fitur morfologis flow slides Sibalaya	V-69
Gambar 5.82 Sawah Yang Mengalami Kekeringan Pascabencana	V-70
Gambar 5.83 Lokasi Saluran Irigasi Sebelum dan Sesudah Gempa Bumi.....	V-71
Gambar 5.84 Setelah Pintu Air Rusak, Air keluar Dari Kedua Gorong Gorong Tersebut	V-72
Gambar 5.85 Penampang topografi pra-gempa dan pasca-gempa dan pergerakan flow slide.....	V-74
Gambar 5.86 Perbandingan pantai Haiti dengan Pantai Palu Sebelum dan Sesudah Terjadi Gempa Bumi	V-78

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Intensitas gempa bumi	II-9
Tabel 2.2 Kekuatan Gempa Bumi Berdasarkan Kelas	II-21
Tabel 2.3 Karakteristik tanah pasir	II-27
Tabel 2.4 Penelitian terdahulu	II-27
Tabel 3.1 Jadwal penyelesaian tugas akhir	III-5
Tabel 4.1 Perbandingan peristiwa likuifaksi besar di masa lalu.....	IV-74
Tabel 5.1 Riwayat gempa bumi di sekitar Kota Palu, Sulawesi Tengah	V-8
Tabel 5.2 Data korban jiwa.....	V-79
Tabel 5.3 Data pengungsi	V-80
Tabel 5.4 Data kondisi rumah.....	V-80
Tabel 5.5 Rekapitulasi penilaian kerusakan dan kerugian pasca bencana gempa bumi dan likuifaksi Provinsi Sulawesi Tengah.....	V-81
Tabel 5.6 Estimasi sampah konstruksi akibat bencana di Palu.....	V-83

