

TUGAS AKHIR

**ANALISA POTENSI LIKUIFAKSI PADA PASIR MENGGUNAKAN
ALAT KORINOFACCTION 2.0**

(Studi Kasus pada Pasir Pantai Parangkusumo Yogyakarta)

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan
Pendidikan Program Sarjana (S1) Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh:

Diafar Alim Maulana
NIM: 3.02.017.00061

AgusSuprpto
NIM: 3.02.020.00289

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNGSEMARANG
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA POTENSI LIKUIFAKSI DENGAN MENGGUNAKAN ALAT KORINOFACCTION 2.0

(Studi Kasus pada Pasir Pantai Parangkusumo, Yogyakarta)

Oleh:



Diafar Alim Maulana

NIM: 3.02.017.00061



Agus Suprpto

NIM: 3.02.020.00289

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 17 Mei 2022

Tim Penguji

1. Ari Sentani, ST., M.Sc
2. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng
3. Selvia Agustina, ST., M.Eng

Tanda Tangan

Three handwritten signatures in blue ink, each followed by a dotted line, representing the examiners.

Universitas Islam Sultan
Agung Program Studi Teknik
Sipil Fakultas Teknik
Ketua,

A handwritten signature in blue ink, representing the chair of the department.

Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No:

Pada hari ini tanggal 07/01/2021 berdasarkan surat keputusan rektor Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang perihal penunjukan dosen pembimbing dan asisten dosen pembimbing:

1. Nama : Ari Sentani, ST., M.Sc
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing I
2. Nama : Lisa Fitriyana, ST., M.Eng
3. Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing II

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir / Skripsi:

Nama: Djafar Alim Maulana

Nama: Agus Suprpto

NIM: 3.02.017.00061

NIM: 3.02.020.00289

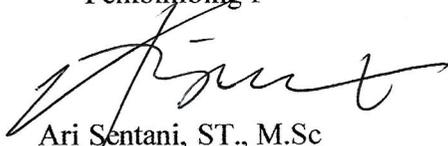
Judul: ANALISA POTENSI LIKUIFAKSI DENGAN MENGGUNAKAN ALAT KORINOFACATION 2.0 (Studi Kasus pada Pasir Pantai Parangkusumo, Yogyakarta)

Dengan tahapan sebagai berikut:

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	18 - 12 - 2021	ACC
2	Proposal	24 - 12 - 2021	ACC
3	Pengumpulan data	25 - 12 - 2021	ACC
4	Analisis data	27 - 12 - 2021	ACC
5	Penyusunan laporan	29 - 12 - 2021	ACC
6	Selesai laporan	21 - 1 - 2022	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan.

Pembimbing I



Ari Sentani, ST., M.Sc

Pembimbing II



Lisa Fitriyana, ST., M.Eng

Mengkaji,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

1. Nama : Djafar Alim Maulana

NIM : 3.02.017.00002

2. Nama : Agus Suprpto

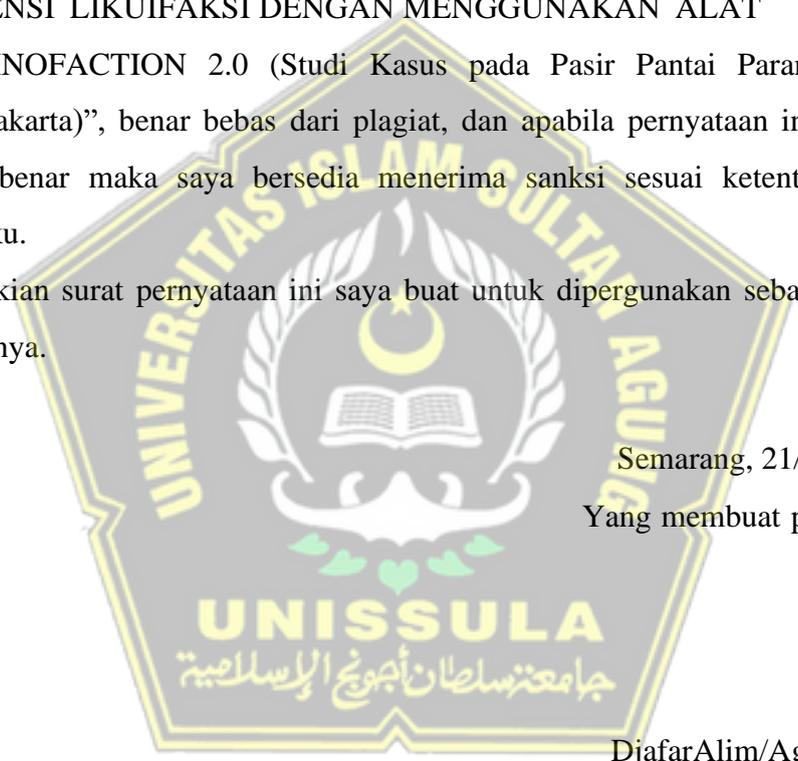
Nim : 3.02.020.00289

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul “ANALISA POTENSI LIKUIFAKSI DENGAN MENGGUNAKAN ALAT KORINOFACCTION 2.0 (Studi Kasus pada Pasir Pantai Parangkusumo Yogyakarta)”, benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, 21/05/2022

Yang membuat pernyataan,



DjafarAlim/AgusSuprpto

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

1. Nama : Djafar Alim Maulana
NIM : 3.02.017.00061
2. Nama : Agus Suprpto
NIM : 3.02.020.00289

JUDUL SKRIPSI : ANALISA POTENSI LIKUIFAKSI DENGAN
MENGUNAKAN ALAT KORINOFACITION 2.0
(Studi Kasus pada Pasir Pantai Parangkusumo)

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, 21 /05/2022

Yang membuat pernyataan,

(materai Rp. 10000)

DjafarAlim/AgusSuprpto

MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ
ءَامَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِّنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

1. “Kamu adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma'ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka, di antara mereka ada yang beriman, dan kebanyakan mereka adalah orang-orang yang fasik.” [QS.Ali-Imron110]
2. Percaya Allah SWT. bersama hambanya yang percaya dengan Nya.
3. Hidup dan hidupilah dirimu dan orang sekitarmu.
4. Jadikan pengalaman orang sebagai pembelajaran.
5. Apa yang dituai sesuai dengan apa yang ditanam.



PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk:

1. Kedua Orang Tua

Terima kasih telah memberikan waktu, tenaga dan materi selama ini, dan senantiasa sabar memberikan masukan serta menanti hingga akhirnya tercapai untuk menyelesaikan pendidikan Strata-1.

2. Denaneer Rahmatatu

Terimakasih atas dukungan dan penantiannya sehingga selesai sudah laporan akhir ini yang mana sebagai salah satu bentuk keseriusan dalam hubungan ini.

3. Bapak Ari Sentani, ST.,M.Sc

Sebagai Dosen Pembimbing terima kasih atas waktu serta masukan selama berdiskusi hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini dengan sabar dan ikhlas.

4. Seluruh Dosen dan Karyawan Fakultas Teknik UNISSULA

Terima kasih telah memberikan pengalaman yang banyak, sebagai dosen/karyawan, sebagai teman untuk berdiskusi, bertukar pengalaman serta pikiran, dan terima kasih karna sudah terlalu banyak merepotkan.

5. Teman – Teman

Terima kasih kepada, Abdul Rokhim, Dwijoko Witoyo, Bogi Nugraha, partner tugas akhir yang telah membantu dan bersedia direpotkan serta tidak bosan dengan segala keluh kesah yang tersampaikan.

6. Kopi Pelangi Demak

Terima kasih telah memberikan ruang untuk berdiskusi, ruang lembur, serta memberikan asupan gizi untuk lancarnya pikiran selama mengerjakan dan berdiskusi perihal tugas akhir.

7. Bapak Munawir

Terima kasih telah membantu untuk menyelesaikan alat dengan membantu membuat pulley kayu yang dapat digunakan untuk penelitian.

8. Terima kasih untuk semua teman, saudara, serta orang yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga terselenggara dan tercapainya penelitian sampai laporan selesai.

Diafar Alim Maulana
NIM: 3.02.017.00061



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “ANALISA POTENSI LIKUIFAKSI PADA PASIR MENGGUNAKAN ALAT KORINOFACATION 2.0 (Studi Kasus pada Pasir Pantai Parangkusumo, Yogyakarta)” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Bapak Ari Sentani, ST., M.Sc selaku dosen pembimbing I yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng selaku dosen Pembimbing II yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, 21 Mei 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO.....	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
Abstrak.....	xvii
Abstract	xviii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II. STUDI PUSTAKA	4
2.1 Partikel Tanah	4
2.2 Tanah Berbulir Kasar dan Tanah Berbulir Halus	6
2.3 Sistem Klasifikasi dan Deskripsi Tanah.....	7
2.4 Keadaan Tegangan dalam Tanah	8
2.5 Prinsip Tegangan Efektif	9
2.6 Gempa Bumi	10
2.6.1 Definisi Gempa Bumi	10
2.6.2 Akibat yang Ditimbulkan Gempa Bumi	11
2.6.3 Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan	16
2.6.4 Mekanisme Kejadian Gempa.....	18
2.7 Gelombang Energi Gempa.....	19
2.7.1 Gelombang Energi Gempa.....	20

2.8 Intensitas Gempa, Magnitudo Gempa dan Seismisitas	21
2.8.1 Intensitas Gempa.....	22
2.9. Debit Aliran.....	24
2.10. Liquefaksi (<i>Liquefaction</i>).....	24
2.10.1 Definisi Likuifaksi	24
2.10.2 Proses Terjadinya Likuifaksi	26
2.10.3 Bahaya yang Ditimbulkan Akibat Likuifaksi.....	27
2.10.4 Perubahan Tegangan di dalam Tanah Akibat Likuifaksi	28
2.10.5 Regangan dan Tegangan Geser Pasir Jenuh Air	29
2.10.6 Angka Pori Kritik e_{cr}	31
2.10.7 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Likuifaksi	32
2.10.8 Syarat – Syarat Terjadinya Likufaksi.....	35
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	42
3.1 Pendahuluan.....	42
3.2 Diagram Alur Penelitian	43
3.3 Bahan Penelitian	44
3.4 Peralatan.....	44
3.5 Langkah – Langkah Penelitian	47
3.6 Permasalahan yang Timbul dalam Penelitian.....	49
BAB IV. HASIL & PEMBAHASAN	50
4.1. Dasar Terjadinya Likuifaksi.....	50
4.2. Sistem Kerja Alat Korinofaction.....	51
4.3. Hasil Penelitian	53
4.3.1. Persiapan Bahan Penelitian.....	53
4.3.2. Pengolahan Bahan.....	53
4.3.3. Data Hasil Laboratorium.....	54
4.3.4. Pengujian Sample Menggunakan Korinofaction	55
4.4. Pembahasan.....	59
4.4.1. Proses terjadinya likuifaksi pada sampel	59
4.4.2. Kekuatan Gempa VIII MMI	60
4.4.3. Luas Area yang Terlikuifaksi.....	60
4.4.4. Kedalaman Area Likuifaksi	60
4.4.5. State of the Art Hasil Penelitian.....	62
BAB V. PENUTUP	64
5.1. Kesimpulan	64

5.2. Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	67



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batasan – Batasan Ukuran Golongan Tanah	4
Tabel 2.2 Golongan Tanah Menurut Butirannya.....	6
Tabel 2.3 Level – Level Gempa Berdasarkan Magnitudo Gempa	17
Tabel 2.4 Klasifikasi Bencana	18
Tabel 2.5 Perbandingan Skala Intensitas Gempa	22
Tabel 2.6 State Of The Art Penelitian	38
Tabel 4.1. Perbandingan skala intensitas gempa	38
Tabel 4.2. Hasil Soil Test	54
Tabel 4.3. Hasil Pengukuran Kedalaman Area Terlikuifaksi	58
Tabel 4.4. Luasan Area Likuifaksi	60
Tabel 4.5. Penurunan Tanah Rata – Rata	61
Tabel 4.6. Perbandingan Hasil Penurunan Penelitian Sebelumnya	62



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Klasifikasi Berdasarkan USDA	5
Gambar 2.2. Grafik Pembagian Butir	6
Gambar 2.3. Cara Klasifikasi Tanah “ <i>Unified Soil Clasification System</i> ”	7
Gambar 2.4. Muka Air Tanah dan Tegangan – Tegangan dalam Tanah	8
Gambar 2.5. Bangunan Runtuh Akibat Gempa	10
Gambar 2.6. Tekanan Air Pori Meningkat Akibat Gempa	11
Gambar 2.7. Likuifaksi Palu,2018	12
Gambar 2.8. <i>Settlement Akibat Gempa Izmit, Turki</i>	13
Gambar 2.9. Rockfall Akibat Gempa Yogyakarta 2006.....	14
Gambar 2.10. Kerusakan Parah Akibat Gempa Sichun 2008	15
Gambar 2.11. Kerusakan Bangunan Akibat Gempa Yogyakarta 27 Mei 2006.....	15
Gambar 2.12. <i>Elastc Rebound Theory</i> (Gempa Interplate)	18
Gambar 2.13. Penyebaran gelombang Energi Gempa	20
Gambar 2.14. Macam-macam Gelombang Energi Gempa.....	21
Gambar 2.15. Perbandingan Antara Skala2 Intensitas Secara Visual	23
Gambar 2.22. Retakan Tanah Disertai Keluarnya Air dan Lumpur	27
Gambar 2.23. Gelombang Sekunder dan Akibat Beban Siklik.....	28
Gambar 2.25. Hasil Uji Triaksial Pasir Lepas Jenuh Air.....	30
Gambar 2.25. Kriteria Likuifaksi	36
Gambar 2.26. Zona Kedalaman Potensi Likuifaksi.....	37
Gambar 3.1. Diagram Alur Penelitian.....	44
Gambar 3.2. Sieve Shaker	45
Gambar 3.3. Oven	45
Gambar 3.4. Tumbukan.....	46
Gambar 3.5. Korinofaction.....	46
Gambar 3.6. Digital Tachometer	47
Gambar 4.1. Pengeringan dengan Oven	54
Gambar 4.2. Kondisi Awal Media Analisa di dalam Bak Kaca Korinofaction	55
Gambar 4.3. Area yang terlikuifaksi.....	57
Gambar 4.4. Pengukuran kedalaman yang terlikuifaksi.....	58
Gambar 4.5. Hasil Pengukuran Kedalaman Area Terlikuifaksi	58

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Lambang dan Notasi

A	[L ²]	Luas DTA, luas potongan melintang
A _{ef}	[L ²]	Luas efektif tanah berteras
A _{wl}	[L ²]	Luas pengendapan (warping land)
B	[L]	Lebar atas saluran
Br	[-]	<i>bifurcation ratio</i>
B	[-]	exponent
C	[-]	faktor manajemen
C _o	[-]	tanaman koefisien <i>runoff</i>
C _r	[-]	<i>circularity ratio</i>
C _s	[ML ⁻³]	konsentrasi
C _x	[L ^{-1/2} T]	sedimen konsentrasi
D	[L]	sedimen koefisien Chezy
DR	[-]	diameter partikel
A	[%]	sedimen kemiringan tanah asli
Γ	[ML ⁻² T ⁻²]	berat spesifik air
γ _C	[ML ⁻² T ⁻²]	berat spesifik <i>clay</i>
γ _s	[ML ⁻² T ⁻²]	berat spesifik sedimen
ρ	[ML ⁻² T ⁻²]	rapat massa air
ρ _s	[ML ³]	rapat massa sedimen
μ	[ML ⁻¹ T ⁻¹]	viskositas dinamik
ν	[L ⁻² T ⁻¹]	viskositas kinematik
η	[-]	<i>trap efficiency of check or gully</i>
ζ	[-]	<i>plug reduction coefficient</i>

Singkatan:

BPPT: Badan Pengembangan Dan Penerapan Teknologi

DAS: Daerah Aliran Sungai

BAPPEDA: Badan Perencanaan Pembangunan Daerah

BPS:Badan Pusat Statistik



ANALISA POTENSI LIKUIFAKSI PADA PASIR MENGUNAKAN ALAT KORINOFACION

(Studi Kasus pada Pasir Pantai Parangkusumo, Bantul,
Yogyakarta)

Oleh:

Djafar Alim Maulana¹⁾, Agus Suprpto¹⁾, Ari Sentani²⁾, Lisa Fitriyana²⁾

Abstrak

Gempa bumi (gempa tektonik) disebabkan karena pergerakan lempeng bumi dan letusan gunung berapi disebut dengan gempa vulkanik. Pada kondisi tanah tertentu gempa bumi juga mengakibatkan terjadinya likuifaksi, yaitu suatu peristiwa dimana tanah kehilangan daya dukung. Hal tersebut terjadi pada kondisi tanah jenuh yang mengalami peningkatan tegangan air pori akibat bekerjanya beban siklik yang ditimbulkan oleh gempa bumi. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa potensi likuifaksi dengan menggunakan alat Korinofaction.

Metode penelitian menggunakan alat Korinofaction dengan prinsip menimbulkan getaran gaya lateral seperti gempa bumi yang bersumber dari putaran dinamo servo DC kemudian diatur kecepatannya melalui dimmer digital serta di sinkronisasi dengan alat pengukur kecepatan digital tachometer. Penelitian ini menggunakan sampel tanah yaitu tanah pasir yang diambil dari Pantai Parangkusumo, Bantul, Yogyakarta.

Hasil yang diperoleh dari pengujian sampel mengalami likuifaksi, persentase kandungan air pada sampel adalah 3,91%, luasan area terjadinya likuifaksi sebesar 7.730 cm^2 , serta kedalaman area likuifaksi pada pasir pada 4 titik dengan rata-rata sebesar 3,2 cm. Sampel tanah juga mengalami penurunan sebesar 6,75 cm.

Kata kunci : Air; Bencana Alam; Gempa Bumi; Likuifaksi; Tanah Air; Tegangan Air Pori

LIQUEFACTION POTENTIAL ANALYSIS USING KORINOFACION DEVICE

(Case Study of San on Parangkusumo Beach, Bantul, Yogyakarta)

by:

Djafar Alim Maulana¹⁾, Agus Suprpto¹⁾, Ari Sentani²⁾, Lisa Fitriyana²⁾

Abstract

Earthquake (tectonic earthquake) are generally caused by the movement of Earth's plate and volcanic eruptions are known as volcanic earthquake. In certain soil condition, earthquake produce liquefaction, which is an activity that the soil loses their support. It occurs in saturated soil condition that increased their pore water due to the work of cyclic loads caused by earthquake. This research conducted to analyze the potential of liquefaction using Korinofaction tools.

Method of this research used Korinofaction tool with the principle of causing lateral force, such as earthquake produced by rotation of the DC servo dynamo. Then, it set its speed through a digital dimer and synchronized with a digital tachometer. This research using samples of soil from Parangkusumo Beach, Bantul, Yogyakarta.

The results obtained from testing of samples undergoing liquefaction. Percentage water content on sample is 3,91%, the area of liquefaction is 7.730 cm², and the depth of liquefaction area at 4 points with an average 3,6 cm. The sample had depression is 6,32 cm.

Keywords: Water; Natural Disaster; Earthquake; Liquefaction, Sod;
Pore
Water Tension

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah sebuah Negara yang terletak di tiga pertemuan lempeng kerak bumi yaitu lempeng Pasifik, lempeng Eurasia dan lempeng India Australia. Kepulauan Indonesia merupakan daerah yang berada pada pertemuan antar dua jalur gempa utama yaitu jalur gempa Mediterania dan jalur gempa Sirkum Pasifik. Indonesia juga merupakan bagian bumi dengan konfigurasi tektonik cincin api. Oleh karena hal tersebut, Indonesia memiliki potensi untuk terjadinya gempa bumi. Contohnya yaitu gempa yang pernah terjadi di Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta pada hari Sabtu pagi, 27 Mei 2006 pukul 05:55:03, dengan kekuatan 6,2 SR/Mw (Karnawati dkk., 2008) yang terletak di koordinat 7,977° LS dan 110,381° BT pada kedalaman 35 Km menurut data yang diperoleh dari USGS (*United States Geological Survey*). Gempa tersebut berasal dari pergeseran patahan berupa gerakan berlawanan dari sekitar pantai Depok, membujur ke arah timur laut melewati Gading Kauman, Tortoharjo, Kali Wening, Ngambangan, Cangkring, hingga Gondowulung di Pleret, Bantul.

Tim gabungan geoteknik dari Jepang dan Indonesia (Konagai dkk., 2007) melakukan penelitian pada daerah yang terkena gempa dikejutkan dengan fenomena yang menunjukkan potensi likuifaksi dimana ditemukannya bukti pada sumur warga yang mengalami kenaikan permukaan air hingga 130 cm dan air sumur yang keruh juga pipa sumur yang bengkok dan naik hingga 70 cm. Likuifaksi terjadi apabila terdapat material lepas berupa pasir dan lanau yang berada di bawah muka air tanah yang memicu ruang pori antar butiran terisi air sehingga tanah tidak dapat menopang beban di atasnya baik berupa lapisan batuan maupun bangunan yang akhirnya mengakibatkan hilangnya daya dukung pondasi bangunan tersebut. (Restu Tandirerung., 2017)

Likuifaksi menyebabkan struktur tanah mengalami kerusakan. Lapisan tanah yang mengalami likuifaksi akan menjadi bubur dan hampir tidak mempunyai daya dukung. Akibat yang terjadi adalah penurunan retak - retak muka tanah keluarnya bubur pasir halus ke permukaan tanah hilangnya *friction* tanah terhadap pondasi pancang sampai dengan tergulingnya pondasi/bangunan di atas tanah (Pawirodikromo, 2012). Dengan adanya hal tersebut penulis akan melakukan penelitian terhadap likuifaksi yang terjadi yaitu analisa mengenai berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya likuifaksi setelah gempa dan berapa banyak volume air yang masuk ke dalam pori tanah setelah gempa sehingga menyebabkan likuifaksi.

Analisa dan penelitian ini akan menggunakan alat KORINOFACION yang telah dimodifikasi dan disempurnakan. Alat yang ada di laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik UNISSULA ini sebelumnya telah digunakan untuk menganalisa faktor yang mempengaruhi terjadinya likuifaksi pada tanah pasir, menghitung persentase kandungan air dalam tanah yang berpotensi menjadi penyebab terjadinya likuifaksi dan mengamati perilaku tanah pasir dan pasir terhadap intensitas gempa sebesar VIII MMI. Pada analisa dan penelitian ini alat KORINOFACION telah disempurnakan agar mendapatkan hasil analisa dan penelitian yang maksimal dan dapat digunakan untuk berbagai penelitian yang berkaitan dengan geoteknik hidrologi dan struktur.

Pengujian ini dilakukan dengan cara menguji sampel pasir Pantai Parangkusumo, Yogyakarta dengan menggunakan alat Korinofaction versi 2.0. Alat tersebut bekerja dengan cara menyalurkan beban siklik/getaran yang berasal dari mesin servo ke bak uji dan menyalurkan air dari ember menuju ke bak uji yang mana. Analisa dan penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pencegahan bencana dan penanganan dampak akibat bencana gempa bumi di wilayah yang memiliki potensi terjadinya likuifaksi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang kami bahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana efektivitas alat Korinofaction untuk melakukan simulasi likuifaksi?
- b. Pada jenis tanah di Pantai Parangkusumo apakah memiliki potensi terjadi likuifaksi?

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan yang akan menjadi bahan analisa dalam penelitian ini dibatasi pada:

- a. Pemodelan alat yang digunakan dalam penelitian.
- b. Jenis tanah pasir Pantai Parangkusumo, Yogyakarta.
- c. Penelitian menggunakan pasir dengan ketinggian 10 cm yang mana volume total adalah 8.000 cm^3 .
- d. Analisa menggunakan metode yang berdasarkan kajian eksperimental penelitian yang sudah ada, baik dari buku, jurnal maupun sumber lain yang terpercaya.
- e. Gaya lateral akibat gempa bumi yang bersumber dari alat KORINOFATION

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah:

- a. Menjelaskan proses terjadinya likuifaksi menggunakan Korinofaction
- b. Menjelaskan potensi terjadinya likuifaksi di Pantai Parangkusumo

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi geoteknik serta situasi geologi dan informasi tentang potensi likuifaksi. Hasil penelitian diharapkan dapat bermanfaat sebagai acuan dalam rencana tata ruang, pengembangan wilayah, dan rekayasa bangunan sipil di sekitar Pantai Parangkusumo, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam pembuatan Tugas Akhir Ini adalah sebagai berikut :

BAB 1 : PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan latar belakang rumusan masalah batasan keaslian tujuan dan sistematika penulisan.

BAB II : STUDI PUSTAKA

Pada bab ini menguraikan landasan teori tentang tanah hal-hal yang berkaitan dengan gempa bumi peristiwa likuifaksi dan tentang metode yang akan digunakan.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menguraikan tentang metode yang berhubungan dengan alur penulisan TUGAS AKHIR untuk memperoleh tujuan yang ingin dicapai dalam hasil analisis berdasarkan kaidah – kaidah yang telah ditetapkan.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menguraikan tentang bagaimana proses dalam mendapatkan hasil yang dicari berdasarkan tujuan yang telah ditetapkan serta pembahasan mengenai hasil yang diperoleh.

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dari hasil analisis dan saran yang disampaikan mengenai TUGAS AKHIR ini.

BAB II STUDI PUSTAKA

2.1 Partikel Tanah

Tanah umumnya disebut dengan kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*) dan lempung (*clay*). Hal ini tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan dalam tanah tersebut. Untuk menjelaskan tentang tanah berdasarkan ukuran partikelnya, beberapa organisasi telah mengembangkan batasan – batasan ukuran golongan jenis tanah (*soil – separate – size limits*) seperti yang dapat dilihat pada table 2.1

Tabel 2.1 Batasan – Batasan Ukuran Golongan Tanah

Nama Golongan	Kerikil	Ukuran Butiran (mm)		
		Pasir	Lanau	Lempung
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 – 0,06	0,06 – 0,002	<0,002
U.S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2 – 0,05	0,05 – 0,002	<0,002
American Association on State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76,2 – 2	2 – 0,075	0,075 – 0,002	<0,002
Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineer dan U.S. Bureau of Reclamation)	76,2 – 4,75	4,75 – 0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung <0,0075)	

(Sumber : Pratikso, 2017)

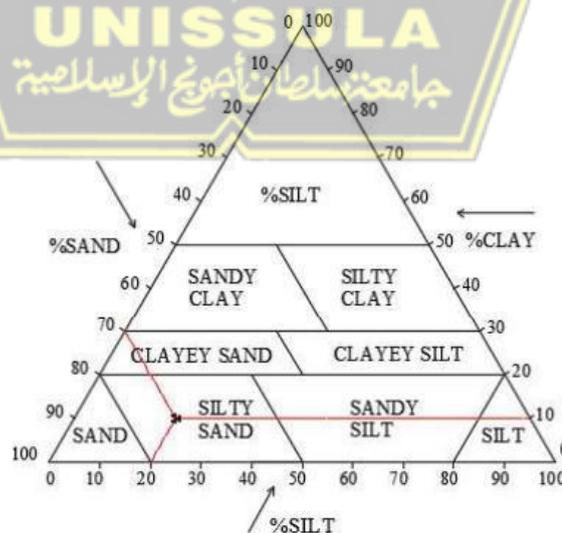
Kerikil (*gravels*) merupakan bagian dari batuan yang berupa kepingan – kepingan yang terkadang mengandung partikel mineral *quartz*, *feldspar* dan mineral lain.

Pasir (*sand*) sebagian besar terbentuk dari *mineral quartz* dan *feldspar*. Pasir memiliki ragam ukuran butiran. Ada pasir yang memiliki ukuran hampir sama,

sehingga disebut pasir seragam. Ada pula pasir yang dalam komposisinya terdapat partikel seukuran kerikil, sehingga disebut tanah bergradasi baik.

Lanau (*silts*) terdiri dari *fraksi mikrokopis* (berukuran sangat kecil), yaitu tanah yang terdiri dari butiran *quartz* yang sangat halus. Dalam lanau (*silt*) juga terdapat partikel berbentuk lempeng pipih, yaitu pecahan dari mineral mika. Lanau memiliki sifat kurang plastis daripada partikel lempung. Lanau juga memiliki permeabilitas atau rembesan yang tinggi. Selain itu, lanau memiliki sifat khusus, yaitu perilaku *quick* dan dilatasi yang tidak terdapat pada lempung. Perilaku *quick* merupakan kecenderungan lanau mencair saat terjadi beban siklik/getaran. Sedangkan dilatasi adalah kecenderungan mengalami perubahan volume saat berubah bentuk.

Tanah lempung (*clay*), tersusun dari partikel mikroskopis dan submikroskopis (tidak dapat dilihat jelas apabila hanya dengan mikroskopis biasa). Partikel pada lempung bersifat kohesi (butirannya saling menempel) dan plastisitas (sifat yang memungkinkan tanah berubah bentuk tanpa terjadi perubahan volume dan tidak menyebabkan terjadi retak atau pecah). Pada Tabel 2.2, lempung dapat didefinisikan sebagai golongan partikel yang memiliki ukuran di bawah 0,002 mm (2 mikro). Di sini tanah diklasifikasikan sebagai lempung (hanya berdasarkan ukurannya saja). Belum tentu tanah yang berukuran partikel lempung tersebut mengandung mineral lempung (*clay minerals*). Dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1. Klasifikasi Berdasarkan USDA

(Das, 2018)

2.2 Tanah Berbutir Kasar dan Tanah Berbutir Halus

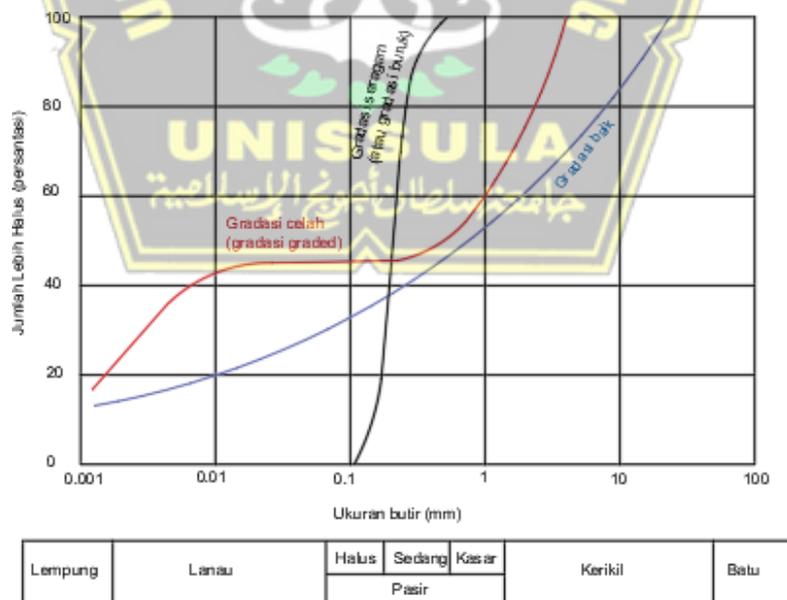
Pada umumnya, tanah terbagi dalam 2 golongan, yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus. Masing – masing golongan memiliki 2 jenis, seperti diperlihatkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Golongan Tanah Menurut Butirannya

TANAH BERBUTIR KASAR atau tanah tidak berkohesi				TANAH BERBUTIR HALUS atau tanah berkohesi	
Kerikil	Pasir			Lanau	Lempung
	Kasar	Sedang	Halus		
60	2	0,6	0,2	0,06	0,002

(Sumber : Braja M. Das, 2018)

Besar butiran tanah digambarkan pada grafik pembagian butir (*particle size distribution curve*) pada gambar 2.2. Biasanya tanah terdiri atas butir – butir yang termasuk dalam beberapa golongan, misalnya kerikil sering mengandung pasir dan pasir sering mengandung lanau atau lempung.



Gambar 2.2. Grafik Pembagian Butir

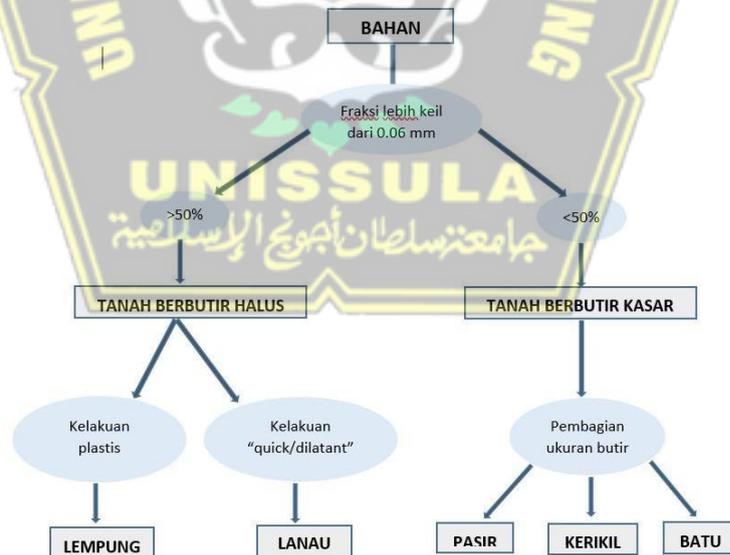
(Wesley, 2010)

Tanah yang memiliki ukuran butiran rata dari yang besar sampai yang kecil disebut bergradasi baik (*well graded*). Apabila terdapat kekurangan atau kelebihan pada salah satu ukuran butir tertentu maka tanah itu dikatakan bergradasi buruk (*poorly graded*) atau gradasi celah (*gap graded*). Apabila butirannya memiliki ukuran hampir sama, maka disebut bergradasi seragam (*uniformly graded*). Grafik lingkungan gradasi dapat dilihat pada gambar 2.2.

2.3 Sistem Klasifikasi dan Deskripsi Tanah

Bidang Teknik Sipil yaitu Mekanika Tanah menggolongkan tanah dengan cara yang berbeda dengan bidang Geologi atau Ilmu Tanah (*Soil Science*). Sistem klasifikasi dalam Mekanika Tanah dimaksudkan untuk menerangkan sifat teknis tanah tersebut. Sedangkan dalam bidang Geologi, menerangkan mengenai sifat fisik bahan tersebut. Cara – cara ini tidak boleh dicampur , meskipun diperbolehkan untuk melampirkan keterangan fisik pada akhir keterangan Mekanika Tanah.

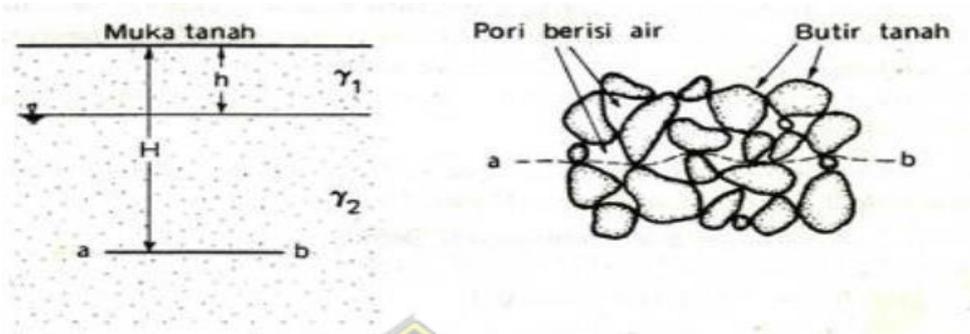
Sistem klasifikasi yang sering digunakan adalah *Unified Soil Classification System* (USCS), atau sistem klasifikasi kesatuan, yang dikembangkan pada Perang Dunia ke II. Sistem ini dapat digunakan berdasarkan pada penyelidikan visual saja atau pada hasil pengujian di laboratorium.



Gambar 2.3. Cara Klasifikasi Tanah “*Unified Soil Classification System*”
(Wesley, 2010)

2.4 Keadaan Tegangan dalam Tanah

Tegangan dalam tanah dapat digunakan untuk mempelajari karakteristik dan perilaku tanah dengan menghitung nilainya pada kedalaman tertentu seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Muka Air Tanah dan Tegangan – Tegangan dalam Tanah
(Wesley, 2010)

Saat kita mengebor tanah, pada kedalaman tertentu tanah menjadi basah dan air akan mulai mengalir ke dalam lubang bor. Jika lubang tersebut dibiarkan, ketinggian air akan naik sampai menjadi tetap. Kedalaman ini merupakan muka air tanah (gambar 2.3). Muka air tanah berada pada kedalaman h . Berat suatu tanah = γ_1 dan γ_2 di atas dan di bawah muka air tanah masing – masing. Pada tanah berbutir kasar seperti pasir dan kerikil, berat satuan di atas muka air biasanya memiliki nilai lebih kecil dibandingkan berat satuan di bawah muka air tanah. Sedangkan pada tanah berbutir halus, khususnya lempung, berat satuan di atas muka air tanah biasanya sama dengan nilai di bawah muka air tanah. Hal ini disebabkan oleh air yang tidak dapat mengalir dari pori, seperti pada pasir dan kerikil. Tekanan air dalam pori tanah disebut tekanan air pori (*pore water pressure* atau *pore pressure*). Tekanan ini dilambangkan dengan huruf u .

Untuk menghitung tegangan pada bidang $a - b$ dalam gambar 2.3 dapat menggunakan rumus 2.1 :

$$\sigma = \gamma_1 h + \gamma_2 (H-h) \dots \dots \dots (2.1)$$

di mana σ = tegangan total.

Tegangan total merupakan tegangan akibat berat tanah seluruhnya (termasuk air dalam pori). Selain tegangan total, besarnya tekanan air pori di dalam pori dapat dihitung. Semua pori di dalam tanah saling berhubungan, sehingga tekanan air pori sama dengan tekanan hidrostatik, dengan rumus 2.2:

$$u = \gamma_w(H-h) \dots\dots\dots (2.2)$$

di mana u = tegangan air pori, dan

γ_w = berat satuan air

2.5 Prinsip Tegangan Efektif

Tegangan yang berlaku pada kerangka butir tanah adalah selisih antara tegangan tanah total dan tekanan air pori.

$$\sigma' = \sigma - u$$

Tegangan σ' disebut tegangan efektif karena hanya tegangan ini yang berpengaruh pada kerangka tanah. Persamaan $\sigma' = \sigma - u$ ini merupakan persamaan terpenting dalam Mekanika Tanah. Konsep dalam persamaan ini disebut prinsip tegangan efektif (*the principle of effective stress*).

Persoalan yang dihadapi dalam bidang Mekanika Tanah meliputi :

- a. Kekuatan geser tanah.
- b. Pemampatan atau kompresibilitas tanah (perubahan volume tanah yang terjadi akibat perubahan tegangan yang bekerja pada tanah).

Kekuatan geser tanah bergantung pada tekanan antar butir tanah (tegangan efektif). Demikian pula, volume tanah bergantung pada tegangan kerangka butir tanah. Tidak mungkin terjadi sesuatu pada butir tanah kecuali tegangan efektif berubah. Sehingga kekuatan geser maupun kompresibilitas tanah bergantung pada tekanan tanah efektif, bukan pada tekanan total. Kekuatan gesernya dapat dihitung dengan rumus 2.3 berikut.

Persamaan kekuatan geser tanah sebagai berikut :

$$S = A + (\sigma - u) B$$

$$= A + \sigma' B \dots\dots\dots (2.3)$$

di mana

S = kekuatan geser

σ = tegangan total

σ' = tegangan efektif

u = tegangan air pori

A dan B = parameter tetap tanah

Kompresibilitas tanah dapat dirumuskan sebagai berikut (rumus 2.4):

$$\frac{\Delta L}{L} = m_v \Delta \sigma' \dots\dots\dots (2.4)$$

di mana ΔL = perubahan tebal pada lapisan setebal L

m_v = koefisien pemampatan (*coefficient of compressibility*)

$\Delta\sigma'$ = perubahan tegangan efektif vertical

Parameter m_v merupakan koefisien pemampatan satu arah (vertical) yang menghubungkan tegangan dan regangan. Parameter ini hampir mirip dengan *Modulus Young* pada bahan lain seperti baja dan beton. Parameter 2.1 dapat ditulis dengan rumus 2.5:

$$\frac{\Delta e}{1+e} = m_v \Delta\sigma' \dots\dots\dots (2.5)$$

karena $\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta e}{1+e}$

2.6 Gempa Bumi

Gempa bumi termasuk bencana alam, baik yang kecil, sedang, maupun yang besar dan menyebabkan terjadi banyak kerusakan. Gempa bumi belum dapat diprediksi secara pasti tempat dan waktu kejadiannya. Begitu pula dengan magnitudo gempa dan kedalaman fokusnya. Meskipun belum dapat diprediksi dengan akurat, tetapi perkiraan tempat – tempat potensi kejadian gempa pada masa mendatang sudah dapat di identifikasikan dengan baik. Contoh peristiwa gempa bumi seperti gambar 2.5.



Gambar 2.5. Bangunan Runtuh Akibat Gempa
(Nidia, 2016)

2.6.1 Definisi Gempa Bumi

Berdasarkan definisi atau pengertian dari beberapa ahli, secara umum gempa bumi merupakan peristiwa bergetarnya permukaan tanah yang disebabkan oleh pelepasan energi secara tiba – tiba, akibat pecah/slipnya

masa batuan yang ada pada lapisan kerak bumi. Hal ini menjadikan tanah bergetar akibat energi gempa merambat ke segala arah.

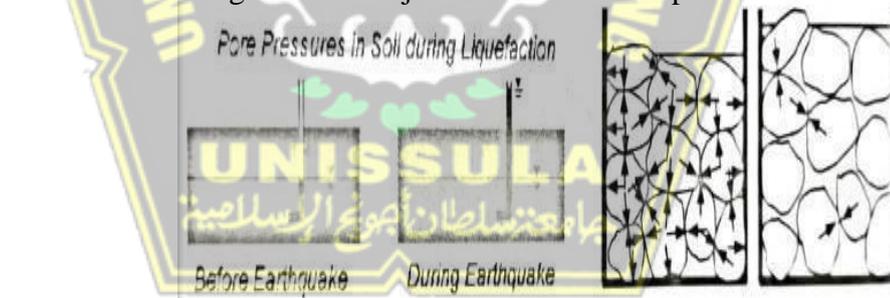
2.6.2 Akibat yang Ditimbulkan Gempa Bumi

Akibat yang disebabkan oleh gempa bumi dapat di kategorikan dalam (Wang and Law, 1994).

2.6.2.1. Likuifaksi (*Liquefaction*)

Likuifaksi menurut Casagrande (1976), merupakan respon tanah yang jenuh ketika mengalami tegangan atau guncangan yang mengakibatkan hilangnya kekuatan atau daya dukung tanah.

Gempa bumi menyebabkan gerakan siklik yang menyebabkan naiknya tegangan air pori tanah jenuh air. Tegangan air pori meningkat sampai batas tertentu dan memisahkan kontak antar butir pasir. Akibatnya, tekanan antar butir hilang, padahal tekanan ini sangat diperlukan untuk menimbulkan tegangan geser. Apabila tegangan geser antar butir minimum bahkan nol, maka kekuatan tanah pasir hilang. Kondisi ini yang disebut likuifaksi (Gambar 2.11) di mana tanah berubah menyerupai bubur dan hampir tidak memiliki kekuatan lagi. Contoh kejadian likuifaksi ada pada Gambar 2.12.

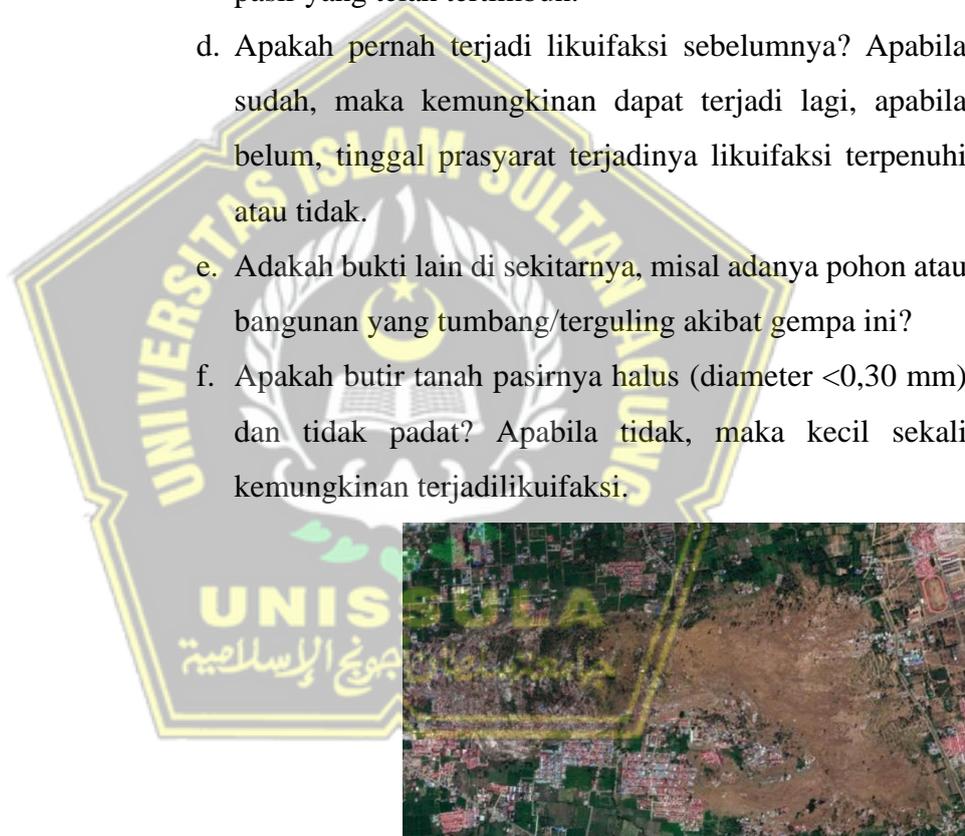


Gambar 2.6. Tekanan Air Pori Meningkat Selama Gempa (Idriss, 2008)

Menurut Wang dan Law (1994), untuk mengetahui apakah di suatu lokasi memiliki potensi likuifaksi dapat diidentifikasi dengan hal – hal berikut :

- a. Apakah terdapat hubungan yang sudah baku antara parameter gempa (misalnya percepatan tanah dan magnitudo gempa), dengan intensitas gempa yang berada di lokasi tersebut. Apabila ada hubungan baku, maka

- umumnya likuifaksi dapat terjadi apabila intensitas gempa di lokasi itu lebih dari VI MMI (skala 12).
- b. Terdapat tanah pasir jenuh air pada kedalaman antara 0,80 – 15,0 meter atau tidak, karena likuifaksi umumnya terjadi pada rentang kedalaman ini. Apabila tidak, maka likuifaksi tidak terjadi.
 - c. Apakah pada situs itu memiliki geomorfologi kurang baik, misal pada endapan pasir di sungai, endapan pasir pada delta sungai, endapan pasir pada danau atau endapan pasir yang telah tertimbun.
 - d. Apakah pernah terjadi likuifaksi sebelumnya? Apabila sudah, maka kemungkinan dapat terjadi lagi, apabila belum, tinggal prasyarat terjadinya likuifaksi terpenuhi atau tidak.
 - e. Adakah bukti lain di sekitarnya, misal adanya pohon atau bangunan yang tumbang/terguling akibat gempa ini?
 - f. Apakah butir tanah pasirnya halus (diameter <0,30 mm) dan tidak padat? Apabila tidak, maka kecil sekali kemungkinan terjadilikuifaksi.

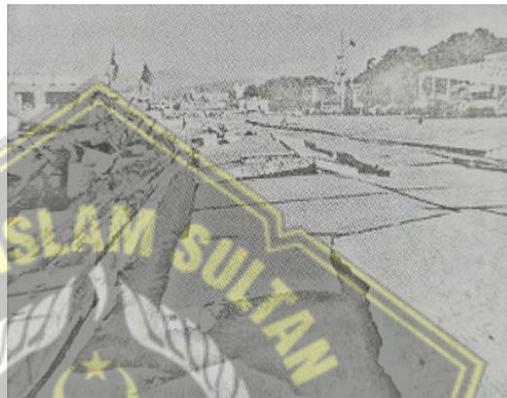


Gambar 2.7. Likuifaksi Palu, 2018
(Triyasni, 2018)

2.6.2.2. Penurunan Tanah (*Soil Settlement*) dan Runtuhnya Lapis Tanah (*Collaper*)

Penurunan tanah setelah terjadi gempa bumi sering terjadi. Sebagai contoh, gempa Kobe (1995), terjadi penurunan permukaan yang disebabkan buruknya kualitas tanah yang merupakan tanah

reklamasi dan gempa Izmit (gambar 2.8). Meskipun telah dilakukan pemadatan secara mekanis, secara keseluruhan tanah reklamasi tersebut belum menjadi tanah kompak dan teruji beban siklik. Penurunan permukaan tanah dapat terjadi karena likuifaksi permukaan maupun oleh pemadatan suatu lapisan akibat beban siklik. *Collapse settlement* merupakan runtuhnya lapisan tanah akibat adanya gua, bekas tambang atau lapisan tanah yang relatif lemah (*soft layer*).



Gambar 2.8. *Settlement* Akibat Gempa Izmir, Turkey, 1999
(Elnashai, 2000)

2.6.2.3 Tanah Longsor (*Landslides*) dan Batu Longsor (*Rockslides* / *Rockfall*)

Tanah longsor dan batu longsor disebabkan oleh beban statik dan beban dinamik seperti gempa bumi. Gelombang geser pada permukaan tanah karena gempa akan menyebabkan adanya tambahan gaya pada suatu lereng/tebing dengan arah horizontal. Kombinasi gaya gravitasi dan gaya horizontal tersebut mengakibatkan kuat geser tanah pada jalur kritis tidak lagi dapat menahan beban. Sehingga terjadi tanah/tebing longsor (*landslides*). Tanah longsor juga dapat disebabkan oleh likuifaksi pada salah satu bagian tebing atau tanah dasar.



Gambar 2.9. Rockfall Akibat Gempa Yogyakarta 2006

(Widiadi, Pietra ; Sarman, Tardi, 2015)

2.6.2.4. Retakan Permukaan Tanah (*Ground Breaking, Faulting*)

Retakan pada permukaan tanah sering dijumpai walaupun tidak disebabkan gempa bumi. Pada suatu jalan yang terdapat lembah pada sisi kanan/kirinya sering terjadi retakan pada permukaan tanah. Retak – retak tersebut merupakan regangan tarik yang telah melampaui batas (regangan tarik $>0,001$), sehingga menjadi retak. Regangan tarik tersebut dapat disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya gaya gravitasi, gaya geser, desak, tarik ataupun kombinasi gempa bumi.

Energi yang dilepaskan saat gempa bumi terjadi sangat besar. Energi mekanik saat gempa terjadi diubah menjadi energi gelombang yang merambat ke segala arah. Retak/pecahannya permukaan tanah ada yang pendek/dangkal, ada yang sangat panjang (dapat ratusan kilometer), sangat dalam (puluhan kilometer) dan cukup lebar (beberapa kilometer). Retaknya permukaan tanah yang relatif kecil – kecil terkadang disebut *ground breaking*. Namun demikian, rekahan yang lebih lebar atau jauh disebut *fault rupture*. Pada beberapa peristiwa gempa, mungkin saja *fault* yang dimaksud tidak sampai ke permukaan tanah, tetapi terjadi di dalam tanah, misalnya gempa Northridge (1994) di USA, tetapi ada yang sampai permukaan tanah seperti gempa Izmit, Turkey (1999) sebagaimana tampak pada gambar 2.15.



Gambar 2.10. Kerusakan Parah Akibat Gempa Sichuan 2008
(Epoch Times ID, 2017)

2.6.2.5. Kerusakan Bangunan

Saat tanah yang ditempati bangunan mengalami gangguan, baik berupa getaran, retakan kecil dan bahkan *faults*, maka bangunan yang berada di atasnya akan terganggu. Gangguan tersebut dari hanya bergetar mengikuti gerakan tanah, bergetar dan mengakibatkan kerusakan ringan, rusak sedang, rusak berat sampai runtuh. Bangunan yang dimaksud adalah semua bangunan yang terletak di atas tanah. Kerusakan yang paling banyak menyebabkan korban manusia adalah kerusakan bangunan gedung. Sedangkan kerusakan jembatan, jalan, fasilitas – fasilitas air minum, minyak dan gas dan bangunan – bangunan yang lain mengakibatkan kerugian harta benda.



Gambar 2.11. Kerusakan Bangunan Akibat Gempa
Yogyakarta 27 Mei 2006
(Salahuddin, 2016)

2.6.3 Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan

Hubungan antara seismologi teknik dan rekayasa kegempaan adalah seismologi berada pada bagian hulu dan rekayasa kegempaan pada bagian hilir. Hu dkk (1996) menjelaskan bahwa seismologi banyak berhubungan dengan hukum dan kondisi fisik kejadian gempa, magnitudo gempa, gelombang gempa, karakteristik gempa dan atensi gelombang gempa.

Earthquake engineering merupakan salah satu cabang ilmu teknik sipil yang terfokus pada usaha mitigasi/penanganan terhadap bahaya gempa (Bartero, 1995). *Earthquake engineering* banyak mempelajari efek gempa terhadap bangunan, kondisi properti tanah terhadap gerakan tanah akibat gempa (*site effects*), efek topografi, menentukan beban gempa, perilaku elemen dan sistem struktur akibat gempa, mendesain dan melaksanakan bangunan tahan gempa (*Earthquake Resistance Design and Controlling, ERDCC*). Rekayasa kegempaan berkembang lebih belakangan daripada seismologi. Pada gempa Italia (1857), *engineers* sadar bahwa pengaruh gempa terhadap struktur perlu dipertimbangkan, sehingga mengusulkan perlu adanya skala intensitas gempa oleh Rossi (Italia) dan Forel (Swiss) tahun 1880 dan skala Marcelli (Italia) tahun 1902.

Studi distribusi intensitas gempa oleh *seismologist* untuk mengetahui secara lebih pasti terhadap lokasi pusat gempa, yang hasilnya digunakan untuk menentukan durasi kedatangan gelombang gempa (*arrival time*). Dengan diketahuinya durasi tersebut, dapat diketahui media tanah/batu seperti apa yang akan dilewati gelombang gempa. *Engineers* menggunakan distribusi intensitas gempa untuk menentukan magnitudo gempa (gempa kecil mengakibatkan intensitas mendekati lingkaran dan gempa besar menghasilkan distribusi lingkaran berbentuk elips) dan parameter gerakan tanah (besar kecilnya kecepatan dan percepatan tanah) serta kualitas bangunan.

2.6.3.1 Lingkup Rekayasa Kegempaan

Hu dkk (1994) menjelaskan bahwa studi rekayasa kegempaan (*earthquake engineering*) melibatkan beberapa bidang :

- a. *Engineering seismology*

- b. *Soil dynamic*
- c. *Seismic hazard assessment and zonation*
- d. *Structural dynamic*
- e. *Design of earthquake resistance structures*
- f. *Evaluation and structural retroffing*
- g. *Disaster risk reduction planning*

Salah satu tujuan dari dipelajarinya rekayasa kegunaan adalah untuk mendesain bangunan tahan (*Earthquake Resistance Design and Construction, ERDC*). ERDC banyak fokus pada struktur bangunan gedung. Filosofi ERDC adalah:

- a. Pada gempa kecil, elemen non struktur (dinding tembok, partisi dan sejenisnya) tidak boleh rusak.
- b. Pada gempa menengah, kerusakan struktur utama tidak boleh terjadi dan kerusakan struktur non elemen masih bisa dikendalikan.
- c. Pada gempa besar, struktur bangunan boleh rusak, tetapi tidak boleh runtuh total atau roboh, untuk meminimalisir korban.

Tabel 2.3 Level – Level Gempa Berdasarkan Magnitudo Gempa

No	Level Gempa	Magnitudo Gempa	Frekuensi Kejadian
1	Great (besar sekali)	>8	1/th
2	Major (besra)	7 – 7,9	18/th
3	Strong (kuat)	6 – 6,9	120/th
4	Moderate (menengah)	5 – 5,9	800/th
5	Light (ringan)	4 – 4,9	6200/th
6	Minor (kecil)	3 – 3,9	49000/th
7	Verry Minor (sangat kecil)	<3	2 – 3 per hari

(Sumber : Dokumen Survei Geologi Amerika Serikat)

2.6.3.2 Penggolongan Level Bencana Alam

Klasifikasi bencana berdasarkan luasan area dan jumlah korbannya disajikan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Klasifikasi Bencana

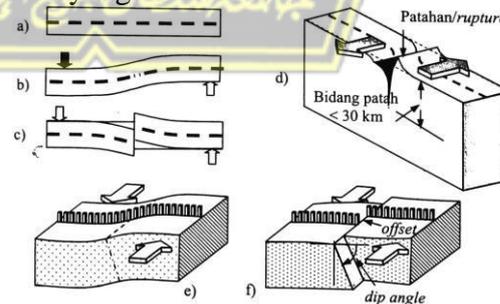
Scope I	Small disaster	<10 persons	<1 km ²
Scope II	Medium disaster	10 – 100 persons	1 – 10 km ²
Scope III	Large disaster	100 – 1000 persons	10 – 100 km ²
Scope IV	Enormous disaster	1000 - 10 ⁴ persons	100 – 1000 km ²
Scope V	Gargantuan disaster	>10 ⁴ persons	>1000 km ²

(Sumber : Gad el Hac, 2008)

2.6.4 Mekanisme Kejadian Gempa

2.6.4.1 Elastic Rebound Theory

Gempa bumi terjadi akibat slip antara dua massa/plat yang kemudian mengakibatkan rekahan/patahan (Zumberge and Nelson, 1976). Menurut Gilluly dkk (1975), gempa bumi terjadi karena adanya gerakan tiba – tiba pada massa kerak bumi yang mengalami rekahan atau patahan. Press and Siever (1978) juga menyampaikan hal yang senada.



Gambar 2.12. Elastic Rebound Theory (Gempa Interplate)

(Widodo, 2012)

Beberapa pernyataan lain mengungkapkan hal yang sama. Pertanyaan selanjutnya yaitu mengapa patahan terjadi secara tiba – tiba. Salah satu jawabannya adalah dengan *elastic*

rebound theory seperti Gambar 2.12. Gambar 2.12.a merupakan massa tanah/batuan sebelum adanya tegangan. Gaya gravitasi atau gerak lempeng tektonik menimbulkan tegangan/regangan pada massa batuan atau tanah seperti pada gambar 2.12.b dan gambar 2.12.e.

Tegangan tersebut berupa tegangan geser horizontal dan tegangan geser vertikal. Tegangan dan regangan batuan yang bertambah sesuai dengan berjalannya waktu menyebabkan energi regangan (*strain energy*) juga terus bertambah/terakumulasi kemudian dilepaskan (*released energy*). *Released energy* tersebut merambat ke segala arah, menyebabkan permukaan tanah bergetar (gempa bumi).

Setelah pecah, massa tanah/batuan akan berusaha membentuk kembali (*rebound*) bahkan berusaha melampaui bentuknya semula, namun belum tentu berhasil seperti gambar 2.12.c. Model di atas dinyatakan oleh ahli geologi Inggris, Reid, tahun 1910. Pada gambar tersebut massa tanah/batuan yang terdeformasi bersifat permanen. Pada gempa California (1906), deformasi plastik yang permanen sempat memotong/menggeser pagar sejauh kurang dari 3 meter. Gambar 2.12.d dan gambar 2.12.f merupakan isometri peristiwa *elastic rebound theory*, yang mana para ahli menyatakan bahwa kedalaman pecahnya batuan (untuk gempa *intraplate*) pada umumnya di bawah 20 km *offset* atau bergesernya posisi pagar dapat dimulai dari beberapa sentimeter sampai beberapa meter.

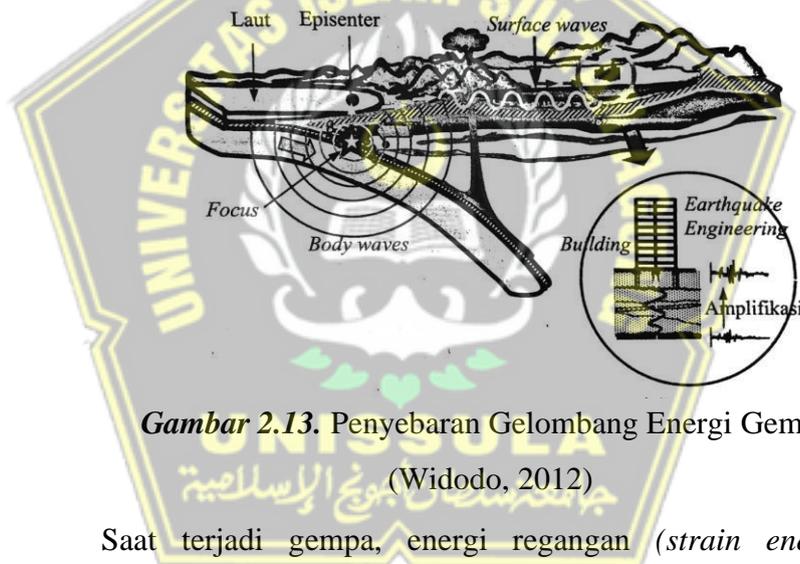
2.7 Gelombang Energi Gempa

Setelah terjadi gempa, energi gempa merambat ke segala arah. Intensitas energi gempa dipengaruhi oleh magnitudo gempa. Magnitudo gempa dipengaruhi oleh mekanisme terjadinya gempa, artinya setiap mekanisme gempa tertentu memiliki magnitudo yang berbeda. Gelombang gempa akan melalui sebuah media yang kompleks sebelum mencapai permukaan tanah, baik struktur geologi maupun properti fisik tanah.

2.7.1 Gelombang Energi Gempa

Menurut Bolt (1975), gelombang energi gempa diumpamakan gelombang udara hasil tepuk tangan. Saat kedua tangan bertepuk, akan menghasilkan tekanan gelombang udara yang menyebar ke segala arah. Energi mekanik kedua tangan yang bertepuk ditransformasi menjadi getaran udara. Akibat yang sama terjadi pada benturan dua material yang keduanya akan mengakibatkan getaran udara.

Sebelum gempa terjadi, terjadi akumulasi energi/tegangan yang besar pada daerah fokus sebagai akibat gaya seperti dalam *elastic rebound theory*. Sehingga saat terjadi gempa atau saat patah/pecahnya massa batuan, terjadi *energy released* yang sangat besar. *Energy released* inilah yang disebut energi gelombang gempa. Energi gelombang gempa menyebar dari fokus ke segala arah.



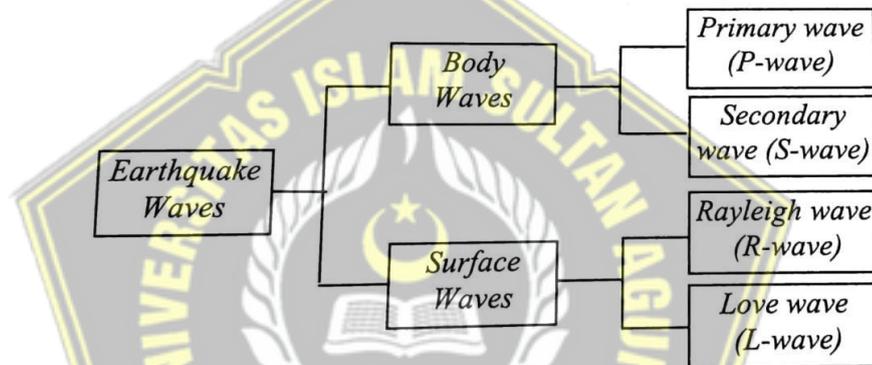
Gambar 2.13. Penyebaran Gelombang Energi Gempa
(Widodo, 2012)

Saat terjadi gempa, energi regangan (*strain energy*) akibat pecah/gesernya batuan akibat peristiwa mekanik (desak, geser, tarik) di transfer menjadi energi gelombang. Dari fokus gempa, gelombang gempa merambat ke segala arah yang salah satu arahnya mencapai permukaan tanah. Sebelum mencapai alat pencatat, gelombang gempa melewati bermacam kondisi lapisan tanah. Ada gelombang yang dipantulkan, dibiarkan dan ada yang bergerak sepanjang permukaan tanah.

Gelombang energi gempa dibedakan menjadi gelombang bodi (*body waves*), gelombang yang menjalar di dalam bumi dan gelombang

permukaan (*surface waves*), yaitu gelombang yang menjalar pada lapisan permukaan tanah.

Menurut para ahli, di antara 2 kelompok tersebut, gelombang permukaan membawa energi lebih besar daripada gelombang bodi (Richard et al., 1970). Namun gelombang bodi memiliki cepat rambat yang lebih besar daripada gelombang permukaan. Gelombang dengan cepat rambat terbesar adalah *P – wave*, kemudian *S – wave* dan terakhir *R – wave*. Kecepatan gelombang bergantung pada properti material batuan, kepadatan, tekanan, dan temperatur batuan tersebut. Kecepatan lebih tinggi memerlukan waktu lebih pendek, sehingga gelombang bodi akan terdeteksi/tercatat lebih dahulu dibandingkan gelombang permukaan.



Gambar 2.14. Macam – Macam Gelombang Energi Gempa (Widodo, 2012)

Gambar 2.14 menunjukkan gelombang bodi terdiri dari *primary wave (P – wave)* dan *secondary wave (S – wave)*. Sedangkan gelombang permukaan terdiri dari *love wave (L – wave)* dan *Rayleigh wave (R – wave)*. Setiap gelombang memiliki karakter berbeda – beda, baik kecepatan, arah getaran gelombang dan gerakan partikel.

2.8 Intensitas Gempa, Magnitudo Gempa dan Seismisitas

Salah satu cara mengetahui seberapa besar gempa yang terjadi adalah dengan menentukan magnitudo gempa dan berdasarkan tingkat kerusakan yang terjadi. Namun menentukan magnitudo dapat menggambarkan kekuatan gempa dengan lebih akurat dibandingkan berdasar kerusakan akibat gempa, karena kerusakan hanya berdasarkan apa yang dilihat.

2.8.1 Intensitas Gempa

Alat pencatat gempa modern dikembangkan pada awal tahun 1930'an. Sehingga gempa yang tercatat sejarah mulai tahun 670 sampai 1930'an tidak memiliki rekaman amplitudo gelombang energi gempa. Intensitas gempa merupakan istilah yang didefinisikan sebagai klasifikasi kekuatan gempa berdasar efek yang terekam di lapangan. Dinyatakan dalam angka romawi (I, II, III, IV dst.).

2.8.2 Sejarah Perkembangan Skala Intensitas Gempa dan Pelaksanaanya

Pada mulanya, Egen (1828) mengklasifikasikan akibat / kerusakan gempa di lapangan. Akibat gempa menyebar secara luas setelah dikenalkan 10 skala intensitas gempa oleh Rossi – Forel tahun 1883 (*RF scale*) yang kemudian dikembangkan Marcalli, ahli seismologi dan vulkanologi Italia tahun 1902 sampai 12 skala.

Intensitas gempa 12 skala dikembangkan lagi oleh Seisberg (1912, 1923). Versi berikutnya adalah *Marcalli – Cancani – Seisberg – Scale (MCS Scale)* yang dipakai di Eropa Selatan tahun 1932. Tahun 1931 terbit skala gempa versi Bahasa Inggris oleh Wood dan Neuman. Tahun 1956 dikembangkan oleh Richter sehingga dikenal sebagai *Modified Mercalli (MMI)*, kemudian dinamakan *Modified Mercalli Intensity (MMI)*. Perbandingan skala – skala dapat dilihat pada tabel 2.6 dan gambar 2.15.

Tabel 2.6 Perbandingan Skala Intensitas Gempa

No	VII	Rossi – Ferel Intensity	JMA Intensity	MSK Intensity	Perc. Tanah*) % g (±)	Kec. Tanah*) Cm/dt (±)
1	I	I	0	I	<0,17	<0,10
2	II	I – II	II – III	II – III	0,17 – 1,4	0,1 – 1,1
3	III	III	III	III	0,17 – 1,4	0,1 – 1,1

4	IV	IV – V	IV	IV	1,4 – 3,9	1,2 – 3,4
5	V	V – VI	V	V	3,9 – 9,2	3,4 – 8,1
6	VI	VI – VII	VI	VI	9,2 – 18	8,1 – 16
7	VII	VIII	VII	VII	18 – 34	16 – 31
8	VIII	VIII – IX	VIII	VIII	34 – 65	31 – 60
9	IX	IX +	IX	IX	65 – 124	60 – 116
10	X	X	X	X	>124	>116

(sumber : Wald et al. 1999)



Gambar 2.15.Perbandingan Antara Skala – Skala Intensitas Secara Visual
(Kramer, 1996)

Di Rusia, berkembang skala intensitas gempa *Medvedev – Sponheuer – Kranik (MSK Scale)* di tahun 1964 yang dikembangkan MCS dan MM56. Skala ini dipakai secara luas di Eropa dan sedikit dimodifikasi pada tahun 1971 dan 1981. Skala ini secara terus menerus dikembangkan oleh *European Seismological Commission* sehingga pada tahun 1998 diberi nama baru yaitu *European Micriseismic Scale (EMS)*.

Jepang (*Japanese Meteorological Agency*) mengembangkan skala yang kemudian disebut JMA dengan 7 skala. Intensitas maksimum

berdasarkan penelitian Elnashai dkk (2006) adalah $I_{MM} = IX$, sedangkan percepatan tanah maksimumnya senilai $\pm 0,55 g$, masih lebih kecil dari nilai percepatan tanah pada tabel 2.6.

2.9. Debit Aliran

Debit aliran merupakan jumlah zat cair yang mengalir tiap satuan waktu (Q). Dalam zat cair ideal, di mana tidak ada gesekan, kecepatan aliran V sama di setiap titik pada tampang lintang.

Jika tampang aliran tegak lurus arah aliran adalah A , maka debit aliran dihitung dengan persamaan:

$$Q = A V \text{ (} m^2 \times m/d = m^3/d \text{)}$$

Zat cair riil memiliki kecepatan nol pada dinding batas dan berbanding lurus jarak dari dinding batas. Dalam aliran pipa, kecepatan maksimumnya terjadi di sumbu pipa. Apabila v merupakan kecepatan pada pias setebal dr dengan jarak r dari sumbu, maka debit aliran :

$$dQ = dA v = 2\pi r dr v$$

Integrasi persamaan tersebut menghasilkan debit aliran total,

$$Q = 2\pi \int_0^r v r dr$$

Persamaan di atas dapat dihitung jika terdapat antara v dengan r . . Prakteknya, variasi kecepatan pada tampang lintang sering diabaikan. Kecepatan aliran dianggap seragam di setiap titik pada tampang lintang dengan besar sama dengan kecepatan rerata V , sehingga debit aliran :

$$Q = AV \dots\dots\dots(2.6)$$

2.10. Likuifaksi (*Liquefaction*)

Likuifaksi merupakan salah satu bencana alam yang kejadiannya dapat dipicu oleh bencana alam lain, seperti longsor dan gempa bumi.

2.10.1 Definisi Likuifaksi

Gempa bumi dapat menimbulkan *secondary effect* pada permukaan yang berhubungan dengan gempa bumi (Day, 2001). Salah satunya adalah fenomena pencairan tanah akibat beban siklik atau yang disebut likuifaksi. Menurut Arthur Casagrande (1976), likuifaksi merupakan respon tanah jenuh ketika mengalami tegangan atau guncangan yang mengakibatkan

hilangnya kekuatan atau daya dukung tanah. Likuifaksi umumnya terjadi pada konsistensi tanah granula jenuh (*saturated*) yang lepas sampai sedang dengan sifat drainase dalam tanah. Deposit tanah yang berpotensi mengalami likuifaksi ketika diberi beban siklik antara lain pasir halus (*sand*) dan pasir berlumpur (*silty sand*). Karena hanya terjadi pada tanah jenuh, likuifaksi umumnya terjadi di dekat sungai, teluk atau badan air lainnya (Kramer, 1996).

Perubahan kondisi tanah pasir jenuh air menjadi cair akibat tekanan air pori yang meningkat hingga ke titik sama besar dengan tegangan total akibat adanya beban siklik menyebabkan tegangan efektif tanah berkurang hingga nol. Dengan demikian, likuifaksi merupakan kejadian suatu tanah kehilangan kekuatan (*strength*) dan kekakuan (*stiffness*) dalam waktu yang singkat. Saat gempa terjadi, gaya geser menyebabkan pasir bereaksi, sehingga tekanan air pori meningkat. Akibat getaran siklik yang terjadi dalam waktu singkat ini, tanah kehilangan kekuatan atau kekakuannya dan tidak dapat mendukung struktur di atasnya untuk tetap stabil. (*Jefferies and Been, 2006*).

Kondisi tanah saat terjadi likuifaksi dapat dinyatakan dalam

$$\sigma' = \sigma - u \dots\dots\dots (2.33)$$

dengan :

$$\sigma' = \text{tegangan efektif tanah (t/m}^2\text{)}$$

$$\sigma = \text{tegangan total (t/m}^2\text{)}$$

$$u = \text{tekanan air pori (t/m}^2\text{)}$$

Menurut Das (1993), tegangan total dapat dihitung menggunakan

$$\sigma = (H \cdot \gamma_d) + (H - H_A) \cdot \gamma_{\text{sat}} \dots\dots\dots (2.34)$$

dengan :

$$\sigma = \text{tegangan total (t/m}^2\text{)}$$

$$H = \text{tinggi muka air diukur dari permukaan tanah (m)}$$

$$H_A = \text{jarak antara titik A dengan muka air (m)}$$

$$\gamma_d = \text{berat volume tanah kering (t/m}^3\text{)}$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \text{berat volume tanah jenuh air (t/m}^3\text{)}$$

Sedangkan nilai rasio tekanan air pori tanah dihitung dengan

$$u = H_A \cdot \gamma_w \dots\dots\dots(2.35)$$

dengan :

H_A = jarak antara titik A dengan muka air

γ_w = berat volume air (10 kN/m³)

Tekanan air pori yang meningkat menyebabkan aliran air naik ke permukaan tanah dalam bentuk semburan lumpur atau pasir. Dalam keadaan ini, tegangan efektif tanah menjadi nol dan partikel tanah saling melepaskan seolah – olah mengembang di air. Struktur di atas endapan tanah pasir yang terlikuifaksi saat gempa bumi akan tenggelam/jatuh dan saluran yang terkubur akan mengapur di permukaan (Seed, 1970).

2.10.2 Proses Terjadinya Likuifaksi

Selama gempa bumi, tegangan geser siklik menyebabkan pasir lepas bereaksi sehingga tekanan air pori meningkat. Akibatnya, air pada tanah tidak mampu keluar dan aliran air ke atas permukaan berupa semburan lumpur atau pasir. Tekanan air pori meningkat karena tanah bergerak menyebabkan air mengalir ke atas, mengubah pasir dari fase padat menjadi fase cair (Day, 2001).

Pasir yang memiliki kepadatan sedang sampai lepas dan elevasi muka air tanah tinggi, saat tidak ada getaran tanah akan stabil karena partikelnya saling mengunci (*interlocking*). Saat gempa terjadi, volume tanah cenderung menyusut dan menyebabkan peningkatan pada tekanan air pori, sehingga kuat geser efektif tanah menurun. Pasir jenuh air akan mengisi ruang antar partikel, sehingga kekuatan *interlocking* antar partikel hilang.

Ishihara (1985) menyatakan bahwa saat likuifaksi, tegangan efektif tanah nol, karena tekanan air pori meningkat hingga ke titik saat tegangan air pori sama besar dengan tegangan tanah. Hilangnya kuat geser tanah menyebabkan partikel pasir yang saling mengunci mulai terlepas dan seolah – olah partikel pasir mengembang di air.

Setelah likuifaksi, tekanan air pori berlebih akan terdisipasi. Lamanya waktu tanah tetap dalam keadaan cair bergantung pada 2 faktor, yaitu durasi getaran akibat gempa bumi dan kondisi drainase tanah

terlikuifaksi. Semakin lama dan kuat tegangan geser siklik akibat gempa, semakin lama likuifaksi terjadi. Saat likuifaksi selesai, tanah dapat memadat, ambles atau kemungkinan tidak sempat untuk memadat

2.10.3 Bahaya yang Ditimbulkan Akibat Likuifaksi

Menurut Idris (2008), gejala yang umum ditimbulkan oleh likuifaksi yaitu semburan pasir atau lumpur dan kerusakan permukaan.



Gambar 2.21. Likuifaksi Palu

(Andri, 2018)



Gambar 2.22. Retakan Tanah disertai Keluarnya Air dan Lumpur

(Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2018)

Menurut Kramer (1996) 2 fenomena terkait gempa bumi sebagai pertimbangan dalam mengevaluasi likuifaksi, yaitu:

a. *Flow Liquefaction*

Flow liquefaction terjadi akibat tegangan geser statis yang diperlukan lebih besar dari tegangan geser tanah dalam kondisi likuifaksi ($\sigma_{static} > \sigma_{residual}$). Akibatnya terjadinya aliran dalam tanah.

Flow liquefaction umumnya terjadi pada tanah pasir lepas (*loose*

sand) yang dipicu sumber getaran non seismik seperti pile driving, getaran kereta api, eksplorasi geofisika atau ledakan. Flow liquefaction dapat menimbulkan *foundation failures*.

b. *Cyclic Mobility*

Cyclic mobility terjadi karena dipicu oleh pembebanan siklik. *Cyclic mobility* menyebabkan deformasi besar secara bertahap akibat adanya tekanan dinamis dan statis selama gempa bumi. *Cyclic mobility* terjadi saat tanah dalam kondisi tekanan geser statis lebih kecil dari tegangan geser tanah saat likuifaksi terjadi ($\sigma_{static} > \sigma_{residual}$). *Cyclic mobility* umumnya terjadi di tanah pasir yang relatif padat (*dense sand*).

2.10.4 Perubahan Tegangan di dalam Tanah Akibat Likuifaksi

Respon tanah ditunjukkan oleh simpangan kecepatan, percepatan dan tegangan yang timbul di muka/lapisan/dalam tanah akibat gelombang energi gempa bumi. Respon ini sangat kompleks, karena selain gelombang energi datang secara tiga dimensi, tanah endapan di mana gelombang energi lewat mungkin mempunyai respon yang tidak linier, tanah yang tidak homogen dan air tanah yang berpengaruh.



Gambar 2.23. Gelombang Sekunder dan Akibat Beban Siklik

(Seed dan Idris, 1971)

Untuk menyederhanakan permasalahan, diambil suatu asumsi bahwa arah rambat gelombang dianggap murni ke arah vertikal dengan gerak partikel tanah ke arah horizontal seperti gambar 2.23. Gelombang gempa sesungguhnya belum tentu vertikal murni namun memiliki sudut tertentu terhadap garis vertikal.

Gerakan gelombang arah vertikal memberi efek geser terhadap elemen tanah, seperti pada gambar 2.23.b. Elemen tanah akan bergantian mengalami perubahan bentuk dan menyebabkan tegangan geser r dan regangan geser γ_{ss} . Untuk mensimulasikan regangan geser dan tegangan geser tanah tersebut dapat dipakai uji siklik geser sederhana (*cyclic simple shear test*). Rasio antara regangan geser dan tegangan geser dikenal dengan modulus geser tanah G .

Saat gempa bumi tidak terjadi, setiap elemen yang ada di dalam tanah memiliki dua macam tekanan tanah, yaitu tekanan tanah vertikal dan horizontal yang masing – masing menimbulkan tegangan terhadap elemen yang ditinjau. Secara tiga dimensi, antara tegangan tanah vertikal efektif, σ'_{v0} dan tegangan tanah horizontal, σ_h selalu dalam keadaan seimbang. Antara tegangan vertikal efektif dan tegangan tanah horizontal sering dinyatakan,

$$\sigma_h = k_0 \cdot \sigma'_{v0} \dots \dots \dots (2.36)$$

Dengan K_0 untuk efisien tekanan tanah horizontal saat diam. Beberapa rumus menyatakan besar koefisien ini diusulkan oleh banyak peneliti, namun rumus paling sederhana adalah,

$$K_0 = 1 - \sin \theta \dots \dots \dots (2.37)$$

Dengan θ untuk sudut gesek dalam efektif dari tanah / pasir yang bersangkutan.

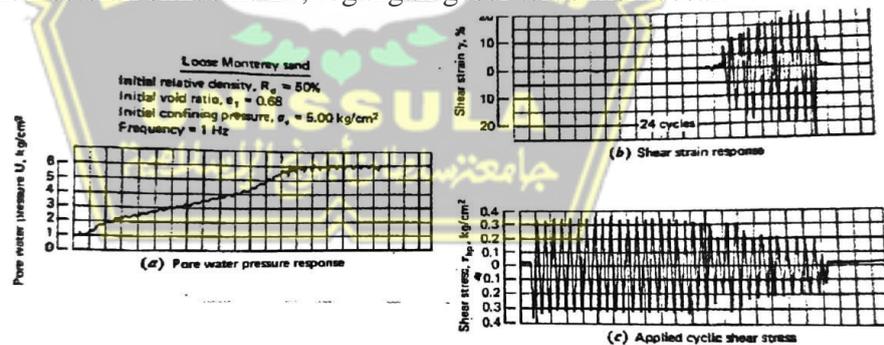
2.10.5 Regangan dan Tegangan Geser Pasir Jenuh Air

Respon parameter paling dominan untuk tanah jenuh air akibat beban siklik pada percobaan di laboratorium adalah distorsi/perubahan bentuk sampel tanah (Vucetic, 1992). Komponen distorsi paling utama adalah simpangan/perubahan tempat relatif antara butir tanah/pasir yang dinyatakan dalam satuan regangan geser tanah, r . Besarnya regangan geser dinilai sebagai yang paling berpengaruh terhadap perubahan struktur butir tanah yang di antaranya adalah rusaknya *particle bonds* antar butir, terjadinya slip antara dua/lebih partikel yang saling kontak dan akibat lebih lanjut yaitu kemungkinan berkembangnya elemen volume tanah dan bervariasinya tekanan air pori.

Regangan geser batas adalah batas regangan geser saat volume tanah akan mengalami perubahan volume. Apabila regangan geser tanah/pasir lebih besar daripada regangan geser batas, maka tanah/pasir mengalami perubahan volume.

Apabila suatu unit volume/sampel tanah jenuh air diberi beban siklik dengan regangan geser lebih besar dari regangan geser batas, volume tanah pasir akan mengembang. Mengembangnya volume sampel tanah pasir tersebut akibat naiknya tekanan air pori (*pori water pressure*) sebagai hasil uji laboratorium oleh Peacock dan Seed (1968) yang disampaikan oleh Prakash (1981). Gambar 2.24.a menunjukkan sejarah pembebanan dinamik (*dynamic loading history*), yaitu pembebanan dinamik siklik yang mendekati beban harmonik. Pembebanan atas benda uji dinyatakan dalam deviator stress σ_d tertentu dengan frekuensi pembebanan tertentu (misalnya $f = 2$ cps). Pembebanan dilakukan dengan tegangan konstan, disebut *stress controll*.

Berdasar penelitian, segera setelah pembebanan siklik dilakukan, tegangan air pori membesar hampir secara linier sebagaimana pada gambar 2.24.a, namun belum terdapat kenaikan regangan geser yang berarti. Namun setelah siklus ke 24, regangan geser terus membesar.



Gambar 2.24. Hasil Uji Triaksial Pasir Lepas Jenuh Air (Peacock and Seed, 1968)

Tegangan butir efektif σ_e menurun sampai batas minimum bahkan nol, sehingga regangan geser demikian besar dan butiran pasir sudah tidak bersinggungan lagi. Akibatnya tanah pasir kehilangan daya dukungnya atau pasir sudah mengalami likuifaksi. Tegangan air pori meningkat karena tidak ada drainase (*undrained*) selama terjadi pembebanan siklik.

Kombinasi antara tegangan deviator, angka pori e , banyak siklus pembebanan, *confining stress*, frekuensi pembebanan dan kepadatan relatif D_r (*relative density*), tanah pasir akan mempengaruhi kepadatan pasir lepas jenuh air sehingga mengalami likuifaksi.

Dari hasil uji laboratorium tersebut nampak bahwa dua tegangan yang perlu diperhatikan yaitu tegangan vertikal efektif σ'_e dan tegangan air pori σ_e . Tegangan air pori cenderung meningkat selama terjadi pembebanan siklik. Selama pada taraf pembebanan tertentu maka tegangan – tegangan σ_e dalam bentuk,

$$\sigma'_e = \sigma'_0 - \sigma_p \dots\dots\dots(2.38)$$

Menurut Prakash (1981), berkurang atau hilangnya daya dukung geser/tegangan geser butiran pasir dapat diartikan sebagai transfer tegangan antar butir (*intern granular stress*) dari butiran pasir ke tegangan air pori. Jika transfer tegangan terjadi sebagian, maka kehilangan tegangan geser juga hanya sebagian. Sedangkan transfer tegangan secara menyeluruh, berarti tegangan air sudah sedemikian besar dan peristiwa likuifaksi tak dapat dihindarkan.

2.10.6 Angka Pori Kritik e_{cr}

Menurut Prakash (1981), Casagrande adalah ahli mekanika tanah pertama yang berusaha menjelaskan peristiwa likuifaksi melalui *critical void ratio*, e_{cr} . Kramer (1996) menyatakan bahwa akibat getaran *continue*, volume pasir akan cenderung mengembang (angka pori membesar) sedangkan pasir lepas cenderung menyusut / memadat (angka pori mengecil). Angka pori kritik adalah nilai angka pori pada keadaan tanah volume tanah pasir tidak akan berubah.

Menurut Casagrande bilamana angka pori suatu tanah pasir e , lebih besar dari angka pori kritik, maka volume tanah pasir akan menyusut. Jika tidak ada drainase maka tegangan air pori akan meningkat. Keadaan seperti ini menurut Das (1983) cenderung terjadi likuifaksi. Namun, konsep ini terkadang susah dilaksanakan, karena angka pori kritik berubah – ubah menurut *confining pressure* (Das, 1983).

2.10.7

Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Likuifaksi

Beberapa faktor yang mempengaruhi likuifaksi diantaranya :

2.10.7.1 Karakteristik Getaran (Vibration Characteristics)

Likuifaksi dan settlement dipengaruhi oleh getaran, baik getaran harmonik atau getaran yang non harmonik seperti getaran akibat gempa (Prakash, 1981). Day (2002) menyatakan bahwa likuifaksi juga dipengaruhi oleh percepatan tanah dan durasi gempa. Potensi likuifaksi semakin besar saat percepatan tanah akibat gempa semakin besar dan durasi getaran semakin lama. Percepatan tanah yang besar dan durasi waktu yang lama berarti berasosiasi dengan gempa bermagnitudo besar. Menurut hasil penelitian ahli di bidang ini, getaran harmonik kontinu (*steady state vibration*) hanya menimbulkan kenaikan tegangan air pori (menyebabkan likuifaksi) setelah beberapa kali beban siklik.

Lebih lanjut, menurut Prakash (1981) keterbatasan arah pembebanan di dalam uji laboratorium juga berpengaruh terhadap hasil pemantauan peristiwa likuifaksi. Pembebanan yang dibangkitkan oleh *shaking table* dapat mensimulasi pembebanan tiga dimensi dan menyebabkan peningkatan tegangan air pori lebih cepat dibanding pembebanan yang *uni – directional*.

2.10.7.2 Jenis Tanah

Jenis tanah yang dimaksud tidak hanya apakah *cohesive soils* atau *non – cohesive soils*, namun juga kemungkinan kandungan *fines* dan indeks plastisitas (PI). Potensi likuifaksi mudah terjadi pada *non – cohesive soils (non – plastic soil)* atau tanah pasir lepas dengan butiran halus/kecil ataupun sedikit tanah campuran dengan kandungan plastisitas indeks (PI) kecil. Sedangkan potensi likuifaksi berbanding terbalik dengan kandungan *fines*.

2.10.7.3 Muka Air Tanah (Ground Water Table)

Kedudukan muka air tanah dipengaruhi beberapa hal, di antaranya elevasi tanah, jenis tanah dan curah hujan. Sebagaimana disampaikan sebelumnya bahwa likuifaksi hanya akan terjadi dalam

kondisi jenuh air. Suatu kawasan tanah pasir dekat bantaran hilir sungai, danau, persawahan atau di tepi laut yang mana muka air relatif tinggi akan berpotensi terjadi likuifaksi. Muka air tanah tinggi menyebabkan lapisan atas tanah pasir *total overburden pressure* masih relatif kecil akan jenuh air. *Overburden pressure* yang masih relatif kecil, butiran pasir halus apalagi yang seragam dan ditambah kondisi jenuh air maka mempermudah likuifaksi terjadi. Menurut para ahli, kecil kemungkinan lapisan tanah di atas air akan mengalami likuifaksi.

2.10.7.4 Muka Distribusi Diameter Butir

Perilaku tanah pasir yang digetarkan dipengaruhi oleh distribusi diameter butir. Menurut Prakash (1981) dan Day (2002) butiran halus dan seragam lebih berbahaya terhadap likuifaksi dibandingkan dengan butir – butir yang relatif kasar. Sebaliknya di mana butiran yang lebih kecil (misalnya *finer*) mengisi dengan baik di antara butir – butir yang lebih besar akan mengakibatkan massa tanah pasir lebih tahan terhadap likuifaksi. Hal ini disebabkan butir yang halus dan peningkatan tegangan air pori selama beban dinamik akan lebih mudah direduksi dibanding pada kasus butir halus dan seragam. Apabila butir halus dan seragam cenderung mudah terjadi likuifaksi, maka sebaliknya butir – butir pasir yang besar / kasar akan relatif sulit terlikuifaksi.

2.10.7.5 Kepadatan Awal (*Innitial Relative Density*)

Penurunan dan tegangan air pori selama getaran berlangsung akan berkurang pada tanah pasir yang relatif padat. Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa tanah pasir yang relatif padat memiliki modulus geser lebih besar dibanding dengan tanah/pasir lepas. Dengan hasil tersebut juga berarti bahwa akibat beban dinamik, tanah pasir lepas akan mengalami regangan geser dan *settlement* yang besar dibanding pada tanah / pasir yang padat. Pasir lepas dengan kepadatan relatif yang kecil akan lebih mudah terjadi likuifaksi.

Hasil penelitian Seed dan Lee (1967) menunjukkan bahwa pada tegangan deviator tertentu, tanah pasir dengan kepadatan yang lebih besar memerlukan jumlah siklus pembebanan lebih banyak agar terjadi likuifaksi. Regangan total 20% (*double amplitude*) menunjukkan mulainya keruntuhan struktur tanah pasir (*structural failure*).

2.107.6 Drainase dan Dimensi Deposit

Jika *deposits* pasir sangat besar, maka pada pembebanan siklik/getar kemampuan sistem drainasinya berkurang. Untuk pembebanan mendadak dan hanya sebentar seperti beban gempa, memungkinkan deposit pasir berperilaku seperti tidak ada drainase (*undrained*). Pada kondisi tersebut tekanan air pori akibat beban siklik cepat berubah signifikan, sehingga proses likuifaksi akan berlangsung lebih mudah.

Beberapa faktor lain yang mempengaruhi terjadinya likuifaksi yang sifatnya signifikan dibandingkan dengan faktor – faktor lain di atas, misalnya cara pembentukan lapisan, adanya pembebanan awal yang kontinu, udara yang terperangkap di dalam air dan sebagainya (Prakash, 1981).

2.10.7.7 Kemampuan Drainase

Pelepasan energi oleh gempa akan menaikkan tegangan air pori pada pasir jenuh air. Apabila ada sistem drainase yang baik maka tegangan air akan dapat terkendali dan kejadian likuifaksi akan dapat dikurangi. Namun kondisi seperti ini tidak mudah tercapai karena drainase pada muka air tanah yang tinggi tidak mudah dilakukan jika terjadi pada deposit tanah pasir yang sangat besar/lias/dalam.

2.10.7.8 Pengaruh Lain

Prakash (1981) dan Day (2002) mengemukakan faktor tata cara atau kualitas *sample* tanah pasir mempengaruhi likuifaksi

pada uji laboratorium. Untuk mensimulasi tanah pasir seperti kondisi *undistrube state* tidak mudah, mengingat butiran pasir mudah terurai. Usia lapisan tanah juga berpengaruh pada potensi likuifaksi. Keberadaan udara yang terperangkap dalam tekanan air pori di antara butiran pasir mempengaruhi likuifaksi. Adanya kandungan udara yang terperangkap dapat mengurangi potensi likuifaksi, Prakash (1981). Sementara menurut Day (2002) ada beberapa hal yang mempengaruhi likuifaksi, yaitu bentuk partikel/butiran dan keberadaan beban vertikal (misal beban bangunan di atasnya atau gunung atau gundukan pasir (*sand dune*). Beban di atas lapisan tanah pasir memperbesar *confining pressure* sehingga mengurangi likuifaksi.

2.10.8 Syarat – Syarat Terjadinya Likuifaksi

Faktor yang mempengaruhi terjadinya likuifaksi secara umum dikelompokkan dalam dua bagian pokok yaitu gaya gempa (intensitas dan arah getaran) serta kondisi tanah dan lingkungan, misalnya kondisi topografi, properti tanah, muka air tanah dan sebagainya (Wang dan Law, 1994). Berdasarkan beberapa persyaratan terjadinya likuifaksi :

2.10.8.1 Intensitas Gempa

Ada batas tertentu (*threshold*) di mana likuifaksi tidak akan terjadi. Likuifaksi tidak terjadi bila :

- a. Magnitudo gempa < 5 skala Richter ($M < 5$)
- b. Intensitas gempa di bawah VI ($I_{MM} < VI$)
- c. Gempa merupakan gempa dalam (kedalaman fokus >70 km)

2.10.8.2 Jarak Episenter

Wang dan Law (1994) mengatakan, berdasar hasil pengamatan lapangan lebih dari 100 tahun dan lebih dari 100 peristiwa likuifaksi menunjukkan likuifaksi tidak terjadi jika jarak episenter lebih dari ;

$$R = 0,82 \cdot 10^{0,862(M-5)} \text{ km} \dots\dots\dots(2.39)$$

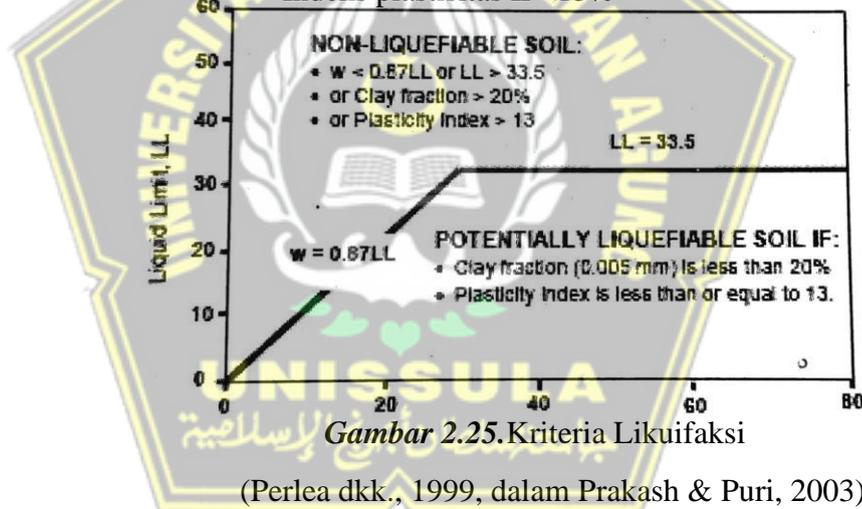
2.12.8.3 Kedalaman Air Tanah Maksimum

Likuifaksi terjadi jika kedalaman air tanah di bawah 3,0 meter. Likuifaksi tidak akan terjadi apabila kedalaman air tanah lebih dari 5,0 meter (Wang dan Law, 1994)

2.10.8.4 Karakteristik Butir Pasir

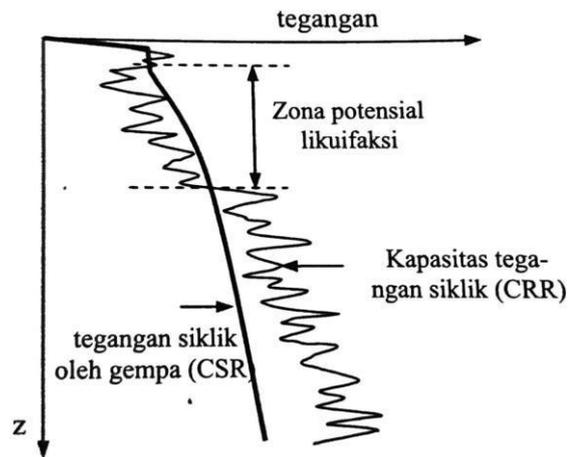
Kriteria tanah yang mengalami likuifaksi menurut Yound dan Gilstrap, 1999 dan Day 2002; Perlea dkk, 1999 dalam Prakash dan Puri 2003 seperti gambar 2.25 :

- Diameter tanah D_{50} antara 0,02 – 1,0 mm
- Kandungan *finer*, butir $D < 0,005$ mm kurang atau sama dengan 20%
- Koefisien keseragaman $D_{60}/D_{10} < 10$
- Kepadatan relatif $D_r < 75$ %
- Indeks plastisitas $IP < 13$



2.10.8.5 Rentang Lapis Likuifaksi

Effective overburden pressure atau tegangan vertikal efektif σ_{ve} (*effective vertical stress*) mempengaruhi terjadinya likuifaksi. Tegangan ini bergantung pada kedalaman lapisan, semakin dalam lapisan, tegangan vertikal tanah akan semakin besar. Tegangan vertikal tanah mempengaruhi tegangan horizontal σ_h (*confining pressure*) tanah. Kedalaman lapisan tanah berbanding terbalik dengan potensi likuifaksi seperti yang ditunjukkan gambar 2.26.



Gambar 2.26. Zona Kedalaman Potensi Likuifaksi

(Widodo, 2012)

Berdasarkan peristiwa likuifaksi yang pernah terjadi, umumnya likuifaksi terjadi pada lapisan tanah pasir lepas jenuh air dengan kedalaman di bawah 15,0 meter. Secara teori tik, lapisan $\pm 0,80$ m dekat permukaan tanah terkadang tidak terjadi likuifaksi, namun terpengaruh lapisan di bawahnya. Likuifaksi terjadi jika *Cyclic Stress Ratio (CSR)* > dari *Cyclic Resistance Ratio (CRR)*.



2.11 State of the Art Penelitian

Beberapa penelitian telah dilakukan menggunakan prototipe dan alat korinofaction untuk menguji potensi likuifaksi. Sampel tanah yang digunakan berbeda beda, baik dari jenis, kandungan lanau dan tempat pengambilan sampel. Hasil dari beberapa penelitian tersebut dapat dilihat pada tabel 2.7 berikut :

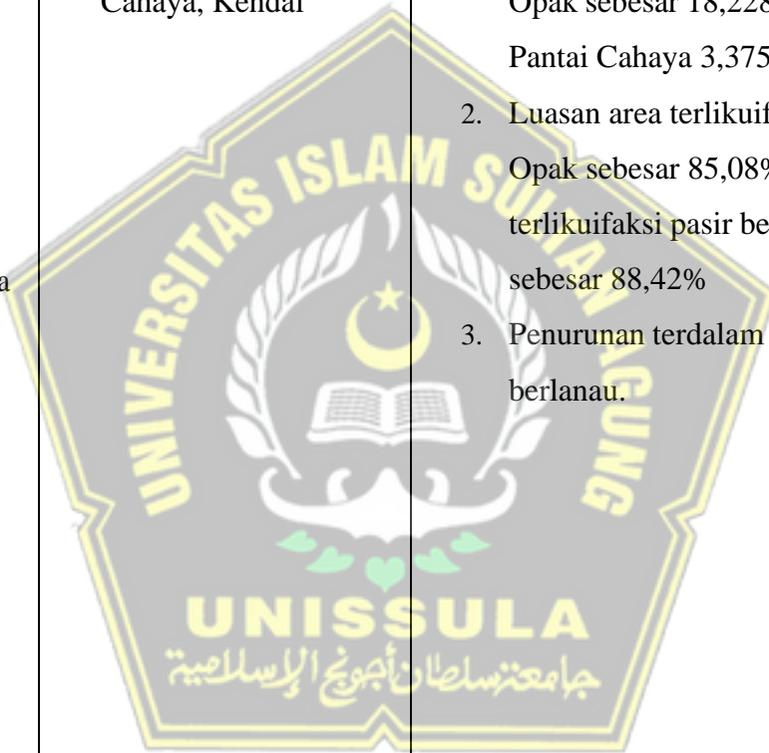
Tabel 2.7 Hasil Penelitian

No.	NAMA	JUDUL	PENGUJIAN	HASIL	JENIS PENELITIAN
1.	Jorgi, Ricky Baruna Setiawan (2019)	Relationship of Grand Size Sand and Vulnerability of Liquefaction (Modelling of Laboratory Scale)	Menggunakan sampel pasir pantai dan pasir gunung	<ol style="list-style-type: none">1. Pasir gunung tidak mengalami likuifaksi (tidak mengalami penurunan saat diuji menggunakan prototipe)2. Pasir pantai mengalami likuifaksi (mengalami penurunan 5 mm saat diuji)	Tes Pengujian

2.	Prakoso Jati, Rinowan Jati Pamungkas (2020)	Liquefaction Potential Analysis on Sandy Soil & Silty Sands using Korinofaction Device	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tanah pasir berlanau (lanau 10%) 2. Tanah pasir berlanau (lanau 20%) 3. Pasir 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Luasan area terbesar akibat dampak terjadinya likuifaksi ada pada pasir 2. Kedalaman likuifaksi terdalam terjadi pada jenis pasir berlanau dengan kandungan lanau 20% 	Tes Pengujian
----	---	--	--	---	---------------



3.	Abdullah Farhan, Renando Abidtahya (2021)	Liquefaction Potential Analysis using Korinofaction Device (Case Study of Silty Sand on Kali Opak, Yogyakarta and Cahaya Beach, Kendal)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tanah lanau dari Kali Opak, Yogyakarta 2. Tanah lanau dari Pantai Cahaya, Kendal 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hasil yang diperoleh dari kedua jenis sampel mengalami likuifaksi, persentase kandungan air pada tanah lanau Kali Opak sebesar 18,228% dan pasir berlanau Pantai Cahaya 3,375%. 2. Luasan area terlikuifaksi pada tanah Kali Opak sebesar 85,08% luasan area terlikuifaksi pasir berlanau Pantai Cahaya sebesar 88,42% 3. Penurunan terdalam ada pada jenis tanah berlanau. 	Tes Pengujian
----	---	---	--	--	---------------





BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

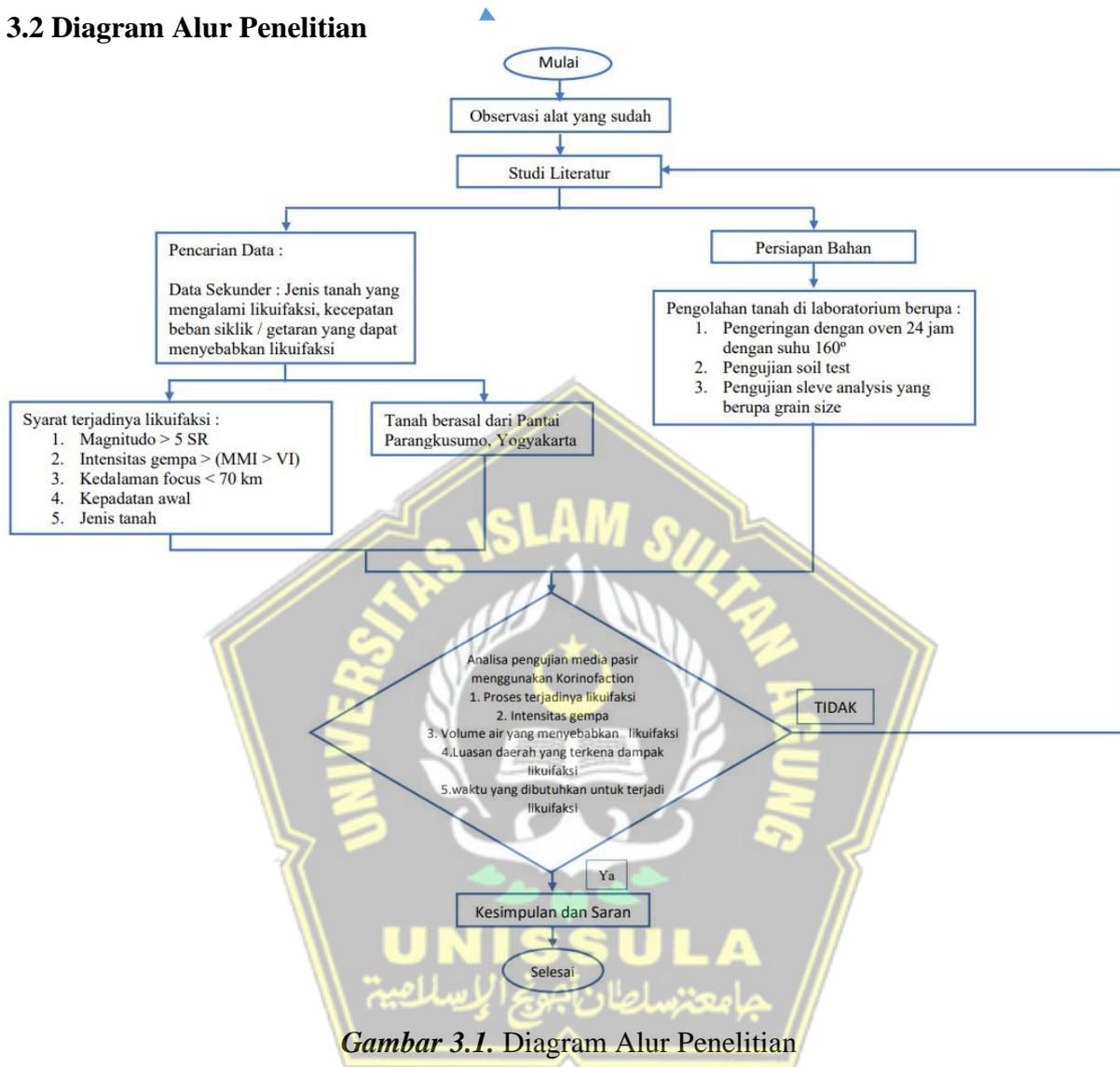
Metode penelitian merupakan suatu cara atau langkah – langkah yang dimiliki dan digunakan sebagai panduan dalam melakukan suatu penelitian. Metode penelitian meliputi gambaran mengenai alur penelitian, prosedur penelitian, pengolahan data dan cara mendapatkan data.

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini berupa kajian eksperimental, berdasarkan penelitian yang sudah ada, baik dari buku literatur, jurnal, maupun dari sumber – sumber lain yang terpercaya. Pembuatan alat Korinofaction sebagai alat untuk uji coba ini dilakukan di Laboratorium Hidraulika dan Tepat Guna Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang, kemudian persiapan bahan yang berupa pasir (*sand*) mulai dari proses pengeringan hingga penyaringan agregat sesuai dengan ukuran maksimum butiran sampai dengan pengujian likuifaksi pada media tanah pasir menggunakan alat Korinofaction dilakukan di tempat yang sama.

Tahapan penelitian yang dilakukan secara umum meliputi hal – hal sebagai berikut :

- a. Persiapan dan modifikasi alat Korinofaction, memastikan setiap Komponen nya berfungsi sebagaimana mestinya.
- b. Penyediaan bahan yang terdiri dari :
 1. Pasir (*sand*)
 2. Air
 3. Beton Precast
- c. Pengolahan bahan yang digunakan dalam penelitian.
- d. Pengujian menggunakan alat Korinofaction dengan media tanah

3.2 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alur Penelitian

3.3 Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan merupakan bahan alam yang diambil langsung dari tempat asalnya sebagai sampel yang kemudian dibawa ke laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik UNISSULA untuk dilakukan pengolahan selanjutnya. Adapun bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

a. Tanah

Tanah merupakan bahan utama yang menjadi media dalam penelitian analisa likuifaksi ini, tanah yang dipakai merupakan jenis pasir. Pasir yang dipakai merupakan jenis pasir pantai, karena memiliki gradasi yang seragam. Pasir pantai cenderung merupakan pasir murni. Tanah pasir berdasarkan tabel golongan tanah menurut butirannya dari yang kasar sampai dengan halus memiliki ukuran agregat 2 – 0,2 mm dan tanah pasir merupakan jenis tanah tak berkohesi. Sampel diambil dari Pantai Parangkusumo, Bantul, Yogyakarta.

b. Air

Air merupakan salah satu penyebab terjadinya likuifaksi, karena keberadaannya yang terlalu banyak, sehingga menyebabkan tanah menjadi jenuh air dan dengan adanya getaran / beban siklik yang berakibat meningkatnya tegangan air dalam tanah sehingga tegangan tanah menjadi hilang dan terjadilah peristiwa pencairan tanah atau disebut likuifaksi.

3.4 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini sebagian tersedia di Laboratorium Mekanika Tanah dan Laboratorium Hidraulika Fakultas Teknik UNISSULA, sedangkan untuk prototipe merupakan alat baru hasil modifikasi dan penyempurnaan alat yang sudah ada. Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

a. Ayakan

Ayakan ini digunakan untuk mendapatkan gradasi butiran agregat lanau yang berdasarkan tabel 3.1 golongan tanah menurut butirannya lanau berukuran $0,002 < D < 0,06$ mm.



Gambar 3.2. Sieve Shaker

b. Oven

Oven digunakan untuk mempercepat pengeringan tanah, di mana sebelum ditumbuk dan disaring, tanah yang mengandung lanau di oven terlebih dahulu selama 24 jam dengan suhu 160°C untuk menghilangkan kadar air.



Gambar 3.3. Oven

c. Tumbukan

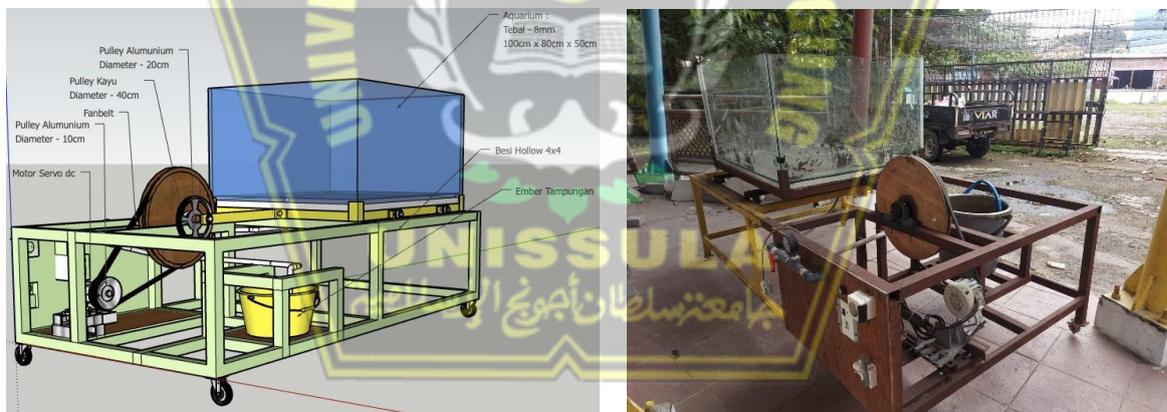
Digunakan untuk menumbuk tanah setelah selesai di oven, yang kemudian disaring menggunakan ayakan.



Gambar 2.4. Tumbukan

d. Korinofaction

Alat Korinofaction yang digunakan adalah hasil modifikasi dan penyempurnaan alat sebelumnya, digunakan untuk simulasi gempa yang mengakibatkan terjadinya likuifaksi. Gambar dari alat serta bagian – bagiannya dapat dilihat pada gambar di bawah:



Gambar 3.5. Alat Korinofaction

e. Digital Tachometer

Digunakan untuk mengukur kecepatan putaran dinamo yang hasilnya dalam satuan rpm, kemudian dikonversikan dalam satuan cm/s dan setelahnya dikonversi ke dalam tabel kecepatan gempa menurut *Richter* dan *MMI* dalam tabel perbandingan intensitas gempa.

Rumusan konversi untuk menentukan kecepatan putaran dinamo pada alat Korinofaction adalah sebagai berikut :

$$\text{Kecepatan} = n \times \frac{2\pi r}{60} \dots\dots\dots (3.1)$$

dengan :

n = banyaknya rpm

r = jari – jari (m)

Satuan yang dihasilkan dalam meter/second kemudian diubah dalam satuan cm/second.



Gambar 3.6. Digital Tachometer

3.5 Langkah – Langkah Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini ada tahapan – tahapan yang dilakukan dari awal sampai dengan akhir. Tahapan – tahapan tersebut haruslah memiliki urutan yang jelas serta terperinci, agar pembaca bisa memahami dengan jelas tahapan – tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini. Adapun tahapan – tahapannya adalah sebagai berikut :

- a. Studi literatur dan pengumpulan data

Data merupakan hal penting yang harus diketahui terlebih dahulu sebelum dilakukannya penelitian, di mana data tersebutlah yang akan menjadi dasar dilakukannya penelitian ini. Data diambil dari beberapa literatur yang bersumber dari beberapa buku, jurnal dan sumber lain yang terpercaya. Data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

- 1) Data Tanah

Berupa tanah yang berpotensi mengalami likuifaksi diantaranya :

Tanah Pasir (*sand*)

- 2) Penyebab terjadinya likuifaksi/pencairan tanah

Berdasarkan buku Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan oleh Widodo Prawirodikromo, syarat terjadinya likuifaksi antara lain sebagai berikut :

- a) Magnitudo gempa > 5 SR

- b) Intensitas gempa > VI (MMI>VI)
- c) Termasuk gempa dangkal (kedalaman fokus <70 km)

b. Pengolahan data

Setelah semua data yang dibutuhkan diperoleh, selanjutnya dilakukanlah pengolahan data, di mana data tersebut yang selanjutnya di analisa dan dicari sebab – sebabnya.

c. Pencarian bahan

Bahan yang digunakan telah disebutkan di atas berupa pasir dengan jenis pasir pantai. Pencarian bahan dilakukan dengan cara memilih tanah yang sekiranya berpotensi terjadinya likuifaksi, kemudian tanah tersebut diambil *sampel* dan selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk proses pengolahan bahan selanjutnya.

d. Pengolahan bahan

Bahan yang sudah didapat kemudian diolah, untuk mencari lanau, tanah berlanau dan pasir pantai tersebut kemudian di oven terlebih dahulu selama 24 jam dengan suhu 160°C untuk menghilangkan kandungan air di dalamnya. Setelah itu dilakukan proses pengayakan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran.

e. Pengujian alat Korinofaction dengan bahan yang telah ditentukan

Setelah semua langkah di atas telah dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah proses pengujian Korinofaction dengan media tanah menggunakan 2 jenis tanah, tanah berlanau dan pasir.

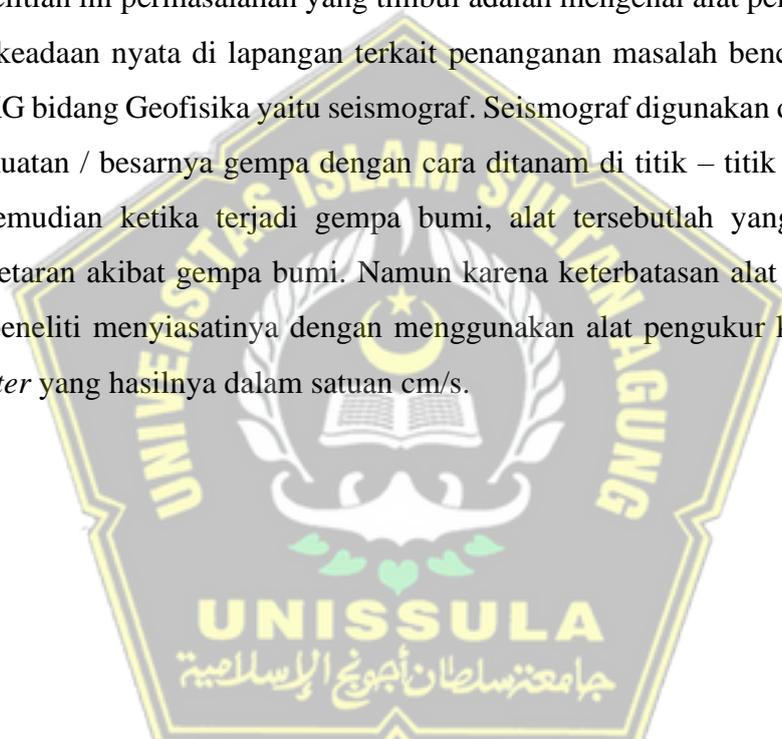
Langkah – langkah pengujian menggunakan prototipe :

- 1) Persiapan alat Korinofaction dan memastikan bahwa semua berfungsi secara normal.
- 2) Persiapan bahan yang akan digunakan sebagai media penelitian yang berupa tanah pasir.
- 3) Setelah semua bahan dan prototipe siap untuk dilakukan pengujian, langkah selanjutnya adalah memasukkan media bahan penelitian berupa tanah ke dalam bak setinggi 10 cm dari dasar (skala 1:1500).
- 4) Masukkan air ke dalam ember yang sudah diberi bak ukur yang ada pada alat Korinofaction.
- 5) Tahap pengujian dilakukan dengan menyalakan mesin servo, kemudian atur kecepatan servo dan tembakkan *digital tachometer* pada pulley untuk mendapatkan nilai rpm.
- 6) Setelah mendapatkan nilai rpm, matikan alat, kemudian hidupkan kembali alat sesuai rpm yang diperoleh tadi, sambil membuka valve air.

- 7) Saat membuka valve air diikuti dengan pencatatan *stopwatch* untuk mengukur berapa lama waktu yang dibutuhkan oleh air mulai mengalir dari sumber air sampai membuat tanah terlikuifaksi.
- 8) Matikan alat dan tutup valve air ketika tanah sudah terlikuifaksi.
- 9) Ukur luas tanah yang terlikuifaksi menggunakan penggaris.
- 10) Proses pengujian dilakukan dengan kecepatan rpm yang sama untuk masing masing *sampel* tanah.

3.6 Permasalahan yang Timbul dalam Penelitian

Dalam penelitian ini permasalahan yang timbul adalah mengenai alat pengukur kecepatan gempa. Dalam keadaan nyata di lapangan terkait penanganan masalah bencana alam gempa bumi oleh BMKG bidang Geofisika yaitu seismograf. Seismograf digunakan di lapangan untuk mengetahui kekuatan / besarnya gempa dengan cara ditanam di titik – titik tertentu di setiap daerah yang kemudian ketika terjadi gempa bumi, alat tersebutlah yang akan mencatat kekuatan dari getaran akibat gempa bumi. Namun karena keterbatasan alat dan biaya dalam penelitian ini, peneliti menyiasatinya dengan menggunakan alat pengukur kecepatan berupa *digital tachometer* yang hasilnya dalam satuan cm/s.



BAB IV

HASIL & PEMBAHASAN

4.1 Dasar Terjadinya Likuifaksi

Analisa potensi likuifaksi pada penelitian menggunakan alat Korinofaction dengan instrumen berupa air, jenis tanah dan getaran / beban siklik akibat gempa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menjelaskan proses terjadinya likuifaksi berdasarkan alat Korinofaction, mengkaji intensitas gempa yang menyebabkan terjadinya likuifaksi, mengkaji waktu yang dibutuhkan untuk terjadi likuifaksi saat gempa, mengkaji jumlah air yang menyebabkan terjadinya likuifaksi dan mengkaji luas area yang terdampak likuifaksi serta mengkaji jenis tanah yang berpotensi terjadi likuifaksi.

Tanah yang dipakai dalam penelitian ini berupa pasir. Pasir tersebut digunakan berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh tim gabungan geoteknik dari Jepang dan Indonesia yang menemukan fenomena berupa kenaikan permukaan air sumur juga pipa sumur yang bengkok dan naik pada daerah gempa. (Restu Tandirerung., 2017) Dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa daerah tersebut (Pantai Parangkusumo, Yogyakarta) memiliki potensi likuifaksi.

Likuifaksi / pencairan tanah terjadi karena peningkatan tegangan air pori akibat adanya getaran / beban siklik yang ditimbulkan oleh gempa bumi yang kemudian menyebabkan hilangnya tegangan tanah sehingga mengubah perilaku tanah menjadi cair. Syarat terjadinya likuifaksi menurut Widodo Prawirodikromo (2012) :

1. Magnitudo gempa > 5 SR
2. Intensitas gempa $> VI$ ($MMI > VI$)
3. Termasuk gempa dangkal (kedalaman fokus < 70 km)
4. Kepadatan awal (*Initial Relative Density*)
5. Jenis tanah

Pada tahun 1956, Richter mengembangkan skala intensitas gempa yang disebut *Modified Mercalli* (MMI). Versi intensitas gempa ini kemudian dinamakan *Modified Mercalli Intensity* atau MMI sebagaimana dipakai sampai sekarang. Skala MMI ini banyak ditulis dalam banyak media. Perbandingan skala – skala tersebut disajikan dalam tabel 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4.1 Perbandingan skala intensitas gempa

No	Modified Mercalli (MMI)	Perc. Tanah*) %g (±)	Kec. Tanah*) cm/dt(+)
1	I	<0,17	<0,10
2	II	0,17 – 1,4	0,1 – 1,1
3	III	0,17 – 1,4	0,1 – 1,1
4	IV	1,4 – 3,9	1,2 – 3,4
5	V	3,9 – 9,2	3,4 – 8,1
6	VI	9,2 – 18	8,1 – 16
7	VII	18 – 34	16 – 31
8	VIII	34 – 65	31 – 60
9	IX	65 – 124	60 – 116
10	X	>124	>116

*) menurut Wald et al. (1999)

(Sumber: Prawirodikromo, 2012)

Pada penelitian ini, untuk menentukan kecepatan gempa menggunakan alat pengukur kecepatan berupa *Digital Tachometer* yang cara kerjanya menggunakan sensor yang diarahkan pada putaran *pulley* penggerak pada servo, kemudian dari *Digital Tachometer* tersebut didapatkan angka kecepatan putaran *pulley* dengan satuan rpm. Satuan rpm tersebut diubah ke dalam satuan cm/s dengan rumus fisika. Adapun rumus yang dipakai untuk mengonversikan kecepatan tersebut adalah sebagai berikut:

$$\text{Kecepatan} = n \times \frac{2\pi r}{60}$$

4.2 Sistem Kerja Alat Korinofaction

Sistem kerja / cara kerja dari alat Korinofaction pada intinya adalah membuat getaran atau beban siklik seperti gempa bumi. Getaran tersebut

bersumber dari putaran servo yang berada pada posisi bawah alat Korinofaction. Kecepatan getaran servo dapat diatur dengan pengatur kecepatan digital yang ada pada alat Korinofaction. Kemudian ada instalasi air yang berperan sebagai air tanah dalam percobaan. Instalasi air tersebut terdiri dari sebuah ember, pompa air dan sistem *plumbing* yang diletakkan pada bagian bawah alat. Ember digunakan sebagai tempat penampungan air yang akan disalurkan oleh pompa air melewati sistem *plumbing* menuju akuarium kaca tempat simulasi likuifaksi. Pada sistem *plumbing* terdapat valve untuk menutup dan membuka aliran air. Sistem *plumbing* juga dilengkapi dengan *pressure gauge* untuk mengukur tekanan air yang mengalir ke dalam area likuifaksi.

Pada penelitian sebelumnya, sistem kerja alat Korinofaction di rakit untuk menimbulkan getaran atau beban siklik yang dijadikan sebagai sumber gempa bumi sebagai sebab terjadinya peningkatan air pori. Meningkatnya tegangan air pori akan menyebabkan tegangan efektif tanah menjadi berkurang hingga titik terendah dan menyebabkan terjadinya likuifaksi. Sistem kerja alat ini masih sama, hanya dilakukan beberapa modifikasi untuk penyempurnaan alat dan merubah sumber air.

Pada penelitian kali ini, untuk menyempurnakan alat guna mendapatkan hasil penelitian yang lebih baik, dilakukan beberapa modifikasi pada alat Korinofaction. Salah satu modifikasi alat ini adalah perubahan dimensi alat. Alat yang sekarang digunakan memiliki dimensi yang lebih besar dan dibuat berdasarkan perhitungan skalatis. Pemakaian dinamo *single phase* diganti dengan motor servo DC. Penggantian dinamo ini bertujuan untuk mempermudah pengujian dengan berbagai variasi kecepatan dan kekuatan gempa, karena keterbatasan dinamo *single phase* dalam variasi kecepatan dan kecepatan yang tidak konstan (menyebabkan sulit mengukur rpm). Selain itu, motor dinamo *single phase* juga cepat memanas apabila dilakukan percobaan dalam waktu yang lama. Dengan penggantian dinamo *single phase* menjadi motor servo DC ini, perhitungan rpm pun dilakukan menggunakan perhitungan digital. Kecepatan dan tenaga yang dikeluarkan oleh motor servo DC dapat diatur sesuai keinginan kita. Jumlah *pulley* pada alat Korinofaction

yang sekarang pun berubah. Pada alat terdahulu, menggunakan 4 buah *pulley* dan sekarang hanya menggunakan 3 *pulley*. Pengurangan *pulley* ini bertujuan untuk mengefisienkan penggunaan alat.

Ukuran bak kaca (akuarium) diperbesar menggunakan perhitungan skalatis. Ukuran bak kaca yang dipakai pada alat saat ini mengambil ukuran skalatis area yang terlikuifaksi di Petobo, Palu, Sulawesi Tengah. Sistem *plumbing* pada alat Korinofaction yang terdahulu menggunakan tong air yang diletakkan pada posisi lebih tinggi dari bak kaca diubah pada alat Korinofaction yang sekarang. Ember sebagai tempat air diletakkan pada posisi lebih rendah dari bak air dan sumber air bukan dari samping bak kaca, melainkan dari dasar bak kaca. Penambahan *pressure gauge* juga dilakukan untuk mengukur tekanan air yang masuk ke dalam bak kaca. Modifikasi lainnya yaitu merubah lintasan gempa yang semula berada pada samping area uji menjadi berada pada tengah bak kaca dan memperkecil ukuran lengan ayun. Ukuran lengan ayun yang diperkecil ini berdasarkan perhitungan torsi untuk mendapatkan rpm yang diinginkan saat tidak ada *dimmer* maupun alat digital lainnya.

4.3. Hasil Penelitian

Tahapan – tahapan dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut:

4.3.1 Persiapan Bahan Penelitian

Bahan – bahan yang diperlukan dalam penelitian berupa pasir yang diambil dari Pantai Parangkusumo, Yogyakarta .

4.3.2. Pengolahan Bahan

Pada proses pengolahan, sampel diolah dengan metode :

Dari sampel tanah yang diambil dari lapangan, proses pertama adalah pengeringan tanah yang bertujuan untuk menghilangkan kadar air, proses pengeringan dilakukan menggunakan oven dengan suhu 160°C untuk mempercepat proses pengeringan, proses pengeringan dalam oven dilakukan selama 24 jam untuk menghilangkan kadar air.



Gambar 4.1. Pengeringan dengan Oven

- a. Setelah proses pengeringan selesai, dilakukan soil test pada sebagian masing – masing *sample*. Sedangkan sisanya yang jauh lebih banyak digunakan untuk uji gempa pada alat Korinofaction.
- b. Soil test yang dilakukan meliputi kadar air (*water content*), berat jenis butiran (*specific gravity*), berat volume tanah (γ), angka pori, kadar pori, berat isi jenuh tanah, berat isi celup tanah dan *grain size*.

4.3.3. Data Hasil Laboratorium

Tabel 4.2 Hasil Soil Test

Sample	W (%)	Gs (gr/cm^3)	γ_b (gr/cm^3)	γ_d (gr/cm^3)	n	e
Pasir Pantai Parangkusumo	3,91	2.68	1.6	1.58	0.4	0.7

Sesuai dengan hasil pada tabel 4.2 diatas sampel Pasir Pantai Parangkusumo memiliki komposisi 97,6 % pasir dan 2,4 % kandungan lanau.

4.3.4. Pengujian Sample Tanah dengan Alat Korinofaction

Proses pengujian dilakukan pada masing – masing sampel. Sampel pertama menggunakan pasir dari Pantai Parangkusumo . Tahapan – tahapan dalam proses pengujian sebagai berikut:

4.3.3.1. Pengujian Pertama

Menggunakan sampel pasir Pantai Parangkusumo, Yogyakarta.

Langkah – langkah pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Persiapkan alat Korinofaction dan memastikan bahwa prototipe berfungsi secara normal.
- b. Persiapkan bahan untuk pengujian pertama, yaitu pasir.
- c. Pasir diletakkan dalam bak dan di atur sesuai ketinggian yang akan disimulasikan. Ketinggian pasir diatur secara skalatis mewakili kedalaman episentrum gempa. Letakkan bongkahan kecil beton sebagai pemodelan bangunan atau struktur.



Gambar 4.2. Kondisi awal media penelitian yang telah diletakkan pada alat Korinofaction

d. Proses pengujian dilakukan dengan menyalakan mesin servo DC yang telah diatur persentase kecepatannya. Kemudian ukur rpm nya menggunakan *digital tachometer* untuk mendapatkan nilai rpm.

e. Setelah semua alat dan media telah siap dan berfungsi dengan baik, lakukan pengamatan terhadap perilaku tanah saat terjadi beban siklik/getaran dan masuknya air tanah hingga tegangan efektif tanah hilang dan tanah menjadi bubur. Berikut hasil pengamatan perilaku pada media tanah pasir :

1) Kondisi awal mula – mula saat terjadinya gempa pada media pasir. Pada kondisi tersebut perilaku tanah masih tetap dan belum terjadi perubahan yang terlihat.

2) Kondisi ketika telah terjadi likuifaksi, air pori masuk ke dalam tanah saat terjadi getaran/beban siklik yang mengakibatkan hilangnya tegangan efektif pada media.

Perilaku tanah mulai mencair dan bangunan di atasnya mulai kehilangan keseimbangannya.

f. Hasil analisa

1) Diketahui

: $n = 42,3$

$r = 0,1$

maka,

$$\begin{aligned} \text{kecepatan} &= m \times \frac{2\pi r^2}{60} = 42,3 \times \frac{2,3,14,0,1}{60} = 0,443 \text{ cm/s} \\ &= 44,3 \text{ cm/s} \end{aligned}$$

Dengan kecepatan 42,3 cm/s, berdasarkan Tabel 4.1, maka didapatkan kekuatan gempa sebesar VIII MMI.

- 2) Luas area yang terlikuifaksi

$$L = 8.000 - 270 = 7.730 \text{ cm}^2$$

Luas media tanah yang menjadi media analisa potensi likuifaksi:

$$L = 100 \text{ cm} \times 80 \text{ cm} = 8000 \text{ cm}^2$$

Luas area yang tidak terlikuifaksi adalah

$$L = \sqrt{15^2 \times 18^2} = 270 \text{ cm}^2$$



Gambar 4.3. Area yang tidak terlikuifaksi

- 3) Waktu yang tercatat mulai dari pertama pembebanan siklik/getaran hingga tanah kehilangan tegangan efektifnya dan menjadi bubuk yaitu 2 menit 48 detik.
- 4) Kedalaman area likuifaksi.
- Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, media mengalami sebagai berikut.



Gambar 4.4. Pengukuran kedalaman area yang terlikuifaksi

Tabel 4.3. Hasil Pengukuran Kedalaman Area Terlikuifaksi

Titik	Penurunan Tanah Terlikuifaksi	Kedalaman Tanah Terlikuifaksi (10cm tinggi media uji – penurunan)
1	4,8 cm	5,2 cm
2	6,4 cm	3,4 cm
3	7,8 cm	2,2 cm
4	8 cm	2 cm



Gambar 4.5. Hasil pengukuran kedalaman area yang terlikuifaksi

4.4 Pembahasan

Likuifaksi yang terjadi di lapangan, terjadi pada tanah dengan kondisi jenuh terhadap air. Faktor – faktor yang menyebabkan terjadinya peristiwa likuifaksi antara lain adalah air, getaran/beban siklik yang menyebabkan terjadinya peningkatan terhadap tegangan air pori tanah dan berakibat pada menurunnya tegangan efektif tanah sampai pada titik terendahnya, sehingga merubah perilaku tanah menjadi cair seperti bubur.

Berdasarkan hasil dari proses penelitian yang telah dilakukan seperti yang tertera di atas dengan tujuan menjelaskan proses terjadinya likuifaksi pada jenis tanah yaitu pasir Pantai Parangkusumo, Yogyakarta, mengkaji luas area likuifaksi berdasarkan luas area bak media uji yang digunakan, mengkaji kedalaman likuifaksi berdasarkan kedalaman sampel pada bak media kaca yang digunakan serta mengkaji jenis tanah yang berpotensi terjadinya likuifaksi.

4.4.1 Proses terjadinya likuifaksi pada sampel

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada sampel yaitu pasir dari Pantai Parangkusumo, Yogyakarta, yang memiliki perbedaan dalam terjadinya likuifaksi. Sampel tanah tersebut berada pada kondisi jenuh air saat dilakukan penelitian. Pada keadaan tersebut kemudian diberi getaran atau beban siklik. Dari hasil percobaan, tercatat nilai gempa yang terjadi pada sampel tanah tersebut. Kemudian dengan adanya getaran/beban siklik tersebut yang bekerja pada media uji coba mengakibatkan tekanan air pori meningkat dan menjadi sebab berkurangnya tegangan efektif tanah hingga titik terendahnya. Ketika mencapai titik terendah tegangan efektifnya, perilaku tanah berubah menjadi cair seperti bubur dan bangunan di atas permukaan tanah tersebut amblas seperti seolah – olah ditelan oleh tanah.

4.4.2. Kekuatan gempa VIII MMI

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan nilai rpm pada sampel tanah yang digunakan, yaitu 42,3 rpm. Berdasarkan nilai rpm tersebut, didapatkan kekuatan gempa yaitu VIII MMI. Dengan kekuatan gempa sebesar VIII MMI, perilaku tanah pasir pada sampel masih cenderung tetap. Perilaku tanah mulai mengalami perubahan ketika air mulai masuk ke dalam tanah, dengan getaran/beban siklik yang terus bekerja, mengakibatkan meningkatnya tegangan air pori tanah dan menyebabkan menurunnya tegangan efektif tanah. Lama – kelamaan air mencapai permukaan dan tanah berubah menjadi bubur. Hal inilah yang disebut peristiwa likuifaksi.

4.4.3. Luas Area yang Terlikuifaksi

Beberapa penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh para ahli menunjukkan bahwa tanah berpasir merupakan area yang rentan terjadi likuifaksi. Hal ini dikarenakan karakteristik pasir yang merupakan tanah tak berkohesi, yaitu tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antar butir – butirnya atau hampir tidak mengandung lempung. Pada penelitian analisa potensi likuifaksi yang telah dilakukan pada pasir Pantai Parangkusumo, di dapatkan luasan area yang mengalami likuifaksi sebagai berikut:

Tabel 4.4. Luasan Area Likuifaksi

No	Pasir Kelanauan	Luasan (cm ²)	% Luasan
1	Pantai Parangkusumo	7.730	96,6 %

4.4.4. Kedalaman area likuifaksi

Berubahnya perilaku tanah yang semula dari padat menjadi cair dapat menghancurkan bangunan yang ada di atasnya, sebab ketika tanah menjadi cair bangunan di atas tanah tersebut akan mengalami penurunan atau bahkan bergeser. Akibat dari penurunan dan pergeseran tersebut, bangunan dan struktur di atasnya menjadi rusak atau bahkan roboh.

Tabel 4.5. Penurunan Tanah Rata-rata

No	Pasir	Penurunan (cm)	Kedalaman (cm)
1	Pantai Parangkusumo	6,75	3,2

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, pasir Pantai Parangkusumo memiliki kedalaman likuifaksi yang cukup tinggi, yaitu sebesar 6,75 cm. Dan penurunan pasir Pantai Parangkusumo sebesar 3,2 cm.



4.4.5. State of the Art Hasil Penelitian

Hasil dari beberapa penelitian sebelumnya yang menggunakan prototipe alat dan alat korinofaction untuk menguji potensi likuifaksi mendapati bahwa penurunan tanah di masing – masing sampel yang digunakan berbeda. Hasil dari penelitian tersebut dapat dilihat pada tabel 4.6 :

Tabel 4.6. Perbandingan hasil penurunan penelitian sebelumnya

NO	PENULIS	LOKASI	JENIS TANAH	PENURUNAN (cm)	KEDALAMAN (cm)	LUASAN (%)
1	Jorgi, Ricky Baruna Setiawan (2019)	1. Muntilan 2. Pasir Pantai	1. Pasir gunung 2. Pasir pantai	1 1,5	7 6,5	
2	Prakoso Jati, Rinowan Jati Pamungkas (2020)		1. Pasir 2. Pasir berlanau (lanau 10%) 3. Pasir berlanau (lanau 20%)	10,5 8,5 9	4,5 6,5 8	88
3	Abdullah Farhan, Renando Abidtahya (2021)	1. Kali Opak 2. Pantai Cahaya	1. Tanah berlanau 2. Pasir	1,42 2,1	8,58 7,9	85,08 88,2
4	Eka Koestiana Soeridjal (2021)	1. Kali Opak 2. Pantai Cahaya	1. Tanah berlanau 2. Pasir	1,42 2,1	8,58 7,9	85,08 88,2
5	Djafar Alim Maulana, Agus Suprpto (2022)	Pantai Parangkusumo, Yogyakarta	Pasir Pantai Parangkusumo	6,75	3,2	96,6

Tabel diatas merupakan perbandingan hasil uji likuifaksi menggunakan Alat KORINOFACITION dengan sampel yang berbeda-beda. Dari lima uji tersebut mendapatkan hasil yang berbeda-beda. Untuk uji pertama menggunakan sampel pasir gunung dari muntilan yang menghasilkan penurunan 1 cm dan kedalaman 7 cm dan tidak terjadi likuifaksi. Untuk uji yang kedua menggunakan sampel pasir berlanau menghasilkan penurunan 8,5 cm dan kedalaman 6,5 cm dan terjadi likuifaksi seluas 88,42% dari luas keseluruhan.

Yang ketiga luas area yang mengalami likuifaksi pada pasir kelanauan Pantai Cahaya sebesar 7073,31 cm² dan atau 88,42% (dari keseluruhan luas media analisa) sedangkan pasir kelanauan KaliOpak sebesar 6806,27 cm² dan atau 85,08% (dari keseluruhan luas media analisa) sehingga didapatkan kesimpulan bahwa pasir kelanauan Pantai Cahaya mengalami likuifaksi yang mencakup area lebih luas dibandingkan pasir kelanauan Kali Opak. Hal ini dikarekan karakteristik pasir kelanauan Pantai Cahaya mengandung pasir lebih banyak dari pada pasir kelanauan Kali Opak , sehingga lebih banyak bagian yang tidak terkohesi, yaitu tidak mempunyai atau sedikit sekali rekatan antar butirannya. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa pasir kelanauan Pantai Cahaya mengalami penurunan tanah yang lebih besar sebesar 2,1 cm dibandingkan pasir kelanauan Kali Opak sebesar 1,42 cm. Hal ini dikarenakan rongga antar butiran (*void*) pasir kelanauan Pantai Cahaya yang lebih besar dibanding dengan pasir kelanauan Kali Opak yang mengandung lebih sedikit pasir.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian, data yang diperoleh diolah untuk mendapatkan hasil yang diinginkan sesuai dengan rumusan masalah pada BAB I. Dari hasil pengolahan data, dilakukan analisa terhadap peristiwa likuifaksi yang telah dimodelkan. Berdasarkan analisa yang dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- a. Pada awal mula terjadinya gempa berkekuatan VII MMI, perilaku pasir cenderung tidak mengalami perubahan. Pasir mengalami perubahan perilaku mulai saat air pori bertambah dan tegangan efektif pasirnya mulai berkurang. Saat air mencapai permukaan dan pasir kehilangan tegangan efektifnya hingga titik terendahnya, pasir berubah seperti bubur. Peristiwa inilah yang disebut sebagai likuifaksi
- b. Peristiwa likuifaksi yang disebabkan oleh perpaduan beban siklik / getaran dan aliran air yang memiliki beberapa perilaku fluida yang dapat diamati.
- c. Likuifaksi sampel mengakibatkan kerusakan pada media dengan luas area yang terdampak pada sampel seluas 7.730 cm^2 dari keseluruhan area media analisa.
- d. Pada pasir terjadi penurunan sebesar 6,75 cm.
- e. Pasir Pantai Parangkusumo memiliki potensi likuifaksi karena pada sampel yang kita uji memiliki komposisi 97,6 % pasir dan 2,4 % lanau.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat saya sampaikan adalah :

- a. Pengujian dapat dilakukan dengan menguji kedalaman sumber gempa yang berbeda – beda.
- b. Pengujian dapat dilakukan dengan menguji kerusakan menggunakan kekuatan gempa yang variatif.
- c. Setelah pengujian likuifaksi, dapat dihitung nilai berat volume tanah basah untuk menghitung nilai tegangan total, nilai tegangan efektif tanah dan rasio tekanan air pori tanah.
- d. Percobaan dapat dilakukan dengan membuat permukaan media analisa bergelombang sesuai dengan perhitungan skalatis kemiringan dan panjang area uji coba untuk menghitung tegangan geser dan regangan geser aliran debris yang terjadi.
- e. Percobaan dapat dilakukan dengan menambahkan piezometer untuk mempermudah perhitungan gradient hydraulic.
- f. Dapat ditambahkan pegas pada 4 sisi yang berada di bawah bak kaca alat Korinofaction untuk mempermudah mengendalikan beban siklik / getaran dan menggantikan gear box
- g. Dapat dilakukan penelitian dengan variasi tekanan aliran
- h. Diperlukan ketelitian dan ketekunan dalam melakukan penelitian dari awal hingga akhir penelitian.

- i. Perlunya menambah literasi / referensi buku, jurnal maupun informasi terpercaya untuk mengembangkan penelitian selanjutnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Arief R. B., Soedarsono, 2009, *Prediksi Amblesan Tanah (Land Subsidence) Pada Dataran Aluvial di Semarang Bagian Bawah*, Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan – UNISSULA Semarang.
- Bunawan R., Sentosa G. S., 2019, *Karakter Nilai Indeks Kompresi Sekunder Untuk Tanah Dengan Kandungan Lanau Lebih Dari 50%*, Jurnal Mitra Teknik Sipil.
- Das B. M., 1998, *Mekanika Tanah (Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, 1 dan 2, Terjemahan, Erlangga, Jakarta.
- Haerdiyatmo, H. C., 2007, *Mekanika Tanah II*, Gajahmada University Press, Yogyakarta.
- Hanafing T., Rias L. O. A., 2017, *Metode Numerikal Analisis Potensi Likuifaksi Tanah Pasir Berdasarkan Data Tanah Cone Penetration Test (CPT)*.
- Immanuel J., Mukarim C. A., 2019, *Analisis Service Live Terhadap Berbagai Jenis Material Reklamasi Diatas Tanah Lunak*, Jurnal Mitra Teknik Sipil.
- Iqbal P., et al, 2014. *Fasies Sedimen Kuarter Berpotensi Likuifaksi Pesisir Kota Padang, Profinsi Sumatra Barat berdasarkan data inti bor dan CPTu*, Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi.
- Jorgi R. B. S., Sofian R., 2019, *Hubungan Grain Size Pasir Terhadap Kerentanan Likuifaksi (Pemodelan Skala Laboratorium)*, Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik UNISSULA.
- L. D. Wesley, 2017. *Mekanika Tanah*, CV. ANDI OFFSET (Penerbit ANDI, Anggota IKPI) Jl. Beo 38-40, Yogyakarta 55281.
- Lokananta R. D., Susilo A., 2018, *Analisa Daya Dukung Tiang Aksial Dengan Mempertimbangkan Potensi Likuifaksi*, Jurnal Mitra Teknik Sipil.
- Mangunpraja D. M., 2019, *Analisa Perbaikan Tanah Sebagai Bentuk Mitigasi Bencana Likuifaksi Yang Dapat Diaplikasikan Masyarakat di Palu*, Jurnal Mitra Teknik Sipil.

- Muntohar A. S., 2010, *Mikro-Zonasi Potensi Likuifaksi dan Penurunan Tanah Akibat Gempa Bumi*, Universitas Muhammadiyah, Yogyakarta.
- Nakazawa K., Sosrodarsono, 2000, *Mekanika Tanah & Teknik Pondasi*, Cet. 7, PT PRADNYA PARAMITA, Jakarta.
- Pranama I. M. W., 2015, *Analisa Potensi Likuifaksi Dengan Data SPT dan CPT, (Studi kasus: Kawasan Benoa, Denpasar)*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Udayana.
- Pratikso, 2017. *MEKANIKA TANAH I*, UNISSULA Press, Semarang.
- Prawirodikromo W., 2012, *Seismiligi Teknik & Rekayasa Kegempaan*, Pustaka Pelajar (Anggota IKPI) Celeban Timur UH III/548 Yogyakarta 55167.
- Ramadhan A., 2011, Analisis Penggunaan Stone Column Pada Daerah Berpotensi Likuifaksi (Studi Kasus: Prosek Airstrip Tanjung Ulie, Halmahera, Maluku Utara), Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, ITB Bandung.
- Saprani A., Triatmojo A., 2019, *Analisa Potensi Likuifaksi Kota Palu Menggunakan Program Geostudio 2012*. Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik UNISSULA.
- Tandirerung R., 2017. *Kajian Potensi Likuifaksi di Daerah Pantai Pandasimo, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta*, Kementrian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Tini et al, 2017, *Analisa Potensi Likuifaksi Akibat Gempa bumi Menggunakan Metode SPT dan CPT di Kabupaten Bantul, Yogyakarta*.
- <http://soalfisika85.blogspot.com/2018/05/roda-berjari-jari-14-cm-berputar-dengan.html>
- <https://www.itb.ac.id/news/read/56834/home/mengapa-terjadi-likuifaksi-di-palu-menurut-ahli-geologi-itb>
- <https://www.kompas.com/tren/read/2019/09/28/053000365/hari-ini-dalam-sejarah--gempa-tsunami-dan-likuefaksi-menghantam-palu?page=all>
- <http://eprints.itenas.ac.id/438/5/05%20Bab%202%20222015202.pdf>
- <https://www.sciencedaily.com/terms/earthquake.htm>
- <https://tremor.nmt.edu/faq>

https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/science/science-earthquakes?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

